

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TIPO CAMPANA
FLOTANTE CON LA UTILIZACIÓN DE DESECHOS PORCINOS PARA LA
FINCA “EL RECUERDO”

AUTORES:
GABRIEL ESTEBAN BÁEZ CAZARES
DANIEL EDUARDO BENÍTEZ OLIVES

TUTOR:
FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA

Quito, diciembre del 2015

Cesión de derecho de autor

Nosotros Gabriel Esteban Báez Cazares, con documento de identificación N° 1719663856 y Daniel Eduardo Benítez Olives, con documento de identificación N° 1717466427, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado “diseño y construcción de un biodigestor tipo campana para la producción de biogás para la cocción de alimentos para la finca el recuerdo” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Gabriel Esteban Báez Cazares



C.I. 1719663856

Quito, Octubre 2015

Daniel Eduardo Benítez Olives



C.I. 1717466427

Declatoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana para la producción de biogás para la cocción de alimentos para la “Finca el Recuerdo” realizado por Gabriel Esteban Báez Cazares y Daniel Eduardo Benítez Olives, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Fabio Eduardo Obando Herrera



C.I. 170798216-9

Quito, Octubre 2015

Dedicatorias

A Laurita, todo mi esfuerzo y dedicación se lo dedico, simplemente ha sido la fuente de mi inspiración a lo largo de mi vida, el saber que se puede vencer cualquier obstáculo si se es perseverante haciendo las cosas de la manera correcta y con una buena actitud transmitiendo bondad y solidaridad en cada paso que demos.

Daniel Benítez

A mis padres que son el soporte fundamental en mi vida, la dedicación y el amor con el que siempre me han brindado sus enseñanzas hacen posible que hoy en día pueda lograr este anhelo que sin ellos no tendría razón de ser.

Gabriel Báez

Agradecimiento

A la Universidad Politécnica Salesiana por abrir las puertas de la institución y formarme como profesional, a mis maestros que siempre supieron dar lo mejor de ellos para transmitir sus conocimientos en las aulas, sin todos ustedes este logro no hubiese sido posible.

Daniel Benítez

Al Ingeniero Fabio Obando que nos supo guiar de manera muy acertada en el desarrollo de la tesis, el transmitir y compartir su conocimiento con sus estudiantes es algo muy valioso que pocos saben hacerlo.

Gabriel Báez

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción | 1 |
| Capítulo I..... | 2 |
| Energías Renovables | 2 |
| 1.1 Concepto | 2 |
| 1.2 Importancia | 2 |
| 1.3 Aspecto de uso de energías renovables | 4 |
| 1.4 Categorías de tecnologías de energía renovable | 4 |
| 1.5 Evolución de energía renovable | 5 |
| 1.6 Biodigestores..... | 6 |
| 1.6.1 Historia de los biodigestores | 6 |
| 1.6.2 Funcionamiento..... | 7 |
| Capitulo II | 9 |
| Biomasa..... | 9 |
| 2.1 Definición..... | 9 |
| 2.3 Características de la biomasa | 9 |
| 2.4 División de la biomasa | 10 |
| 2.4.1 Biomasa húmeda | 10 |
| 2.4.2 Biomasa seca | 11 |
| 2.5 Biodigestión | 11 |
| 2.5.1 Digestión anaerobia..... | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.5.2 Proceso biológico | 12 |
| 2.5.2.1 Etapa hidrolítica | 12 |
| 2.5.2.2 Etapa acidogénica (I)..... | 12 |
| 2.5.2.3 Etapa acetogénica (2 y 3) | 13 |
| 2.5.2.4 Etapa metanogénica (4y5)..... | 13 |
| 2.6 Clasificación de los biodigestores | 15 |
| 2.6.1 Tipos de biodigestores según frecuencia de alimentación | 15 |
| 2.6.2 Tipos de biodigestores según su funcionamiento | 17 |
| 2.6.3 Análisis cuantitativo de los biodigestores | 23 |
| 2.7 Selección de alternativa..... | 25 |
| 2.7.3 Disponibilidad de desechos..... | 25 |
| 2.7.4 Necesidad de fertilización con abonos orgánicos | 25 |
| 2.7.5 Manejo responsables de desechos | 25 |
| 2.7.6 Consumo de energía limpia..... | 26 |
| Capítulo III..... | 27 |
| Biogás..... | 27 |
| 3.1 Definición..... | 27 |
| 3.2 Características para la obtención de biogás | 27 |
| 3.3 Temperatura | 28 |
| 3.4 Composición del biogás | 28 |
| 3.5 Pricipio de combustión del biogás | 29 |

| | |
|--|----|
| 3.6 Aplicaciones de biogás..... | 29 |
| 3.7 Materia prima | 31 |
| Capítulo IV..... | 36 |
| Diseño y descripción del biodigestor | 36 |
| 4.1 Diseño de biodigestor..... | 36 |
| 4.1.1 Cálculo del peso vivo promedio de cada animal (PVP)..... | 36 |
| 4.1.2 Cálculo de cantidad de estiércol diario | 38 |
| 4.1.3 Cálculo de materia prima para la carga (MC)..... | 38 |
| 4.1.4 Cálculo del porcentaje de sólidos totales | 39 |
| 4.1.5 Cálculo de Sólidos Totales..... | 40 |
| 4.1.6 Cálculo de masa de agua para la mezcla de carga del biodigestor..... | 40 |
| 4.1.7 Cálculo de la carga de ingreso al biodigestor..... | 41 |
| 4.1.8 Tiempo de retención..... | 42 |
| 4.1.9 Cálculo del volumen del biodigestor..... | 42 |
| 4.1.10 Cálculo de la posible producción de biogás | 43 |
| 4.1.11 Cálculo de altura de la mezcla en la cámara | 44 |
| 4.1.12 Poder Calorífico | 45 |
| 4.2 Selección de tubería y válvula..... | 49 |
| 4.2.1 Dimensionamiento de tubería | 49 |
| 4.2.2 Válvulas de paso | 51 |
| 4.3 Partes del biodigestor | 51 |

| | |
|---|----|
| 4.3.1 Tanque de producción de gas | 52 |
| 4.3.2 Agitador | 53 |
| 4.3.3 Guía del agitador | 56 |
| 4.3.4 Reservorio de gas | 57 |
| 4.3.5 Tanque de sellado del almacenamiento de gas | 58 |
| 4.3.6 Guías de sujeción de tanque | 59 |
| 4.3.7 Dispositivo de eliminación de agua | 61 |
| 4.3.8 Dispositivo de seguridad de llama o flama | 62 |
| 4.3.9 Dispositivo de eliminación de sulfuro de hidrogeno..... | 63 |
| 4.4 Análisis de costos y rentabilidad..... | 64 |
| 4.4.1 Análisis de beneficios de construcción | 66 |
| 4.4.2 Costos de materiales..... | 66 |
| 4.4.3 Cálculos de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) | 68 |
| Conclusiones | 69 |
| Recomendaciones..... | 70 |
| Referencias..... | 71 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1 Análisis cuantitativo | 24 |
| Tabla 2 Temperaturas de producción de biogás | 28 |
| Tabla 3 Composición del biogás | 29 |
| Tabla 4 Consumo y rendimiento de aplicaciones | 31 |
| Tabla 5 Compuestos del excremento porcino | 32 |
| Tabla 6 Producción de biogás por animal | 33 |
| Tabla 7 Producción de biogás por materia orgánica | 33 |
| Tabla 8 Producción de biogás por animal | 36 |
| Tabla 9 Peso vivo promedio de cada animal en la granja | 37 |
| Tabla 10 Tiempo de retención basado en la temperatura | 42 |
| Tabla 11 Poder calorífico del metano y gas carbónico. | 47 |
| Tabla 12 Cálculos de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)..... | 68 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----------|
| 1. Representación de porcentaje de fuentes de energía a nivel mundial..... | 5 |
| 2. Proceso de funcionamiento de biodigestor..... | 8 |
| 3. Cuadro sinóptico División de la biomasa | 10 |
| 4. Fases de Fermentación..... | 14 |
| 5. Biodigestor continuo | 15 |
| 6. Biodigestor campana flotante | 18 |
| 7. Biodigestor tipo chino | 20 |
| 8. Biodigestor tipo salchicha..... | 22 |
| 9. Diagrama general | 51 |
| 10. Tanque de producción de biogás | 53 |
| 11. Paletas de agitación | 55 |
| 12. Agitador | 55 |
| 13. Guía del agitador | 57 |
| 14. Tanque de almacenamiento..... | 58 |
| 15. Tanque de sellamiento | 59 |
| 16. Guías del tanque de almacenamiento | 60 |
| 17. Dispositivo de eliminación de agua | 61 |
| 18. Dispositivo de seguridad de llama o flama..... | 62 |
| 19. Dispositivo de eliminación de sulfuro | 63 |

Índice de anexos

| | |
|---|-----------|
| Anexo 1 Granja porcina de la finca “El Recuerdo” | 74 |
| Anexo 2 Tanques de almacenamiento nuevos | 74 |
| Anexo 3 Perforación de la cámara para ingreso de la carga | 75 |
| Anexo 4 Perforación de desagüe | 76 |
| Anexo 5 Corte de tanque para acumulador de gas | 76 |
| Anexo 6 Perforación para agitador de paletas | 77 |
| Anexo 7 Corte y colocación de tubo para boca de carga | 77 |
| Anexo 8 Perforaciones en tubo para colocación de paletas en agitador | 78 |
| Anexo 9 Corte de paletas para agitador..... | 78 |
| Anexo 10 Instalación del agitador | 79 |
| Anexo 11 Elaboración de jaula metálica para el acumulador de gas..... | 79 |
| Anexo 12 Perforaciones para filtros y trampas | 80 |
| Anexo 13 Tabla A-27E..... | 80 |
| Anexo 14 Mantenimiento..... | 81 |
| Anexo 15 Planos | 90 |

Resumen

El objetivo principal de este proyecto fue crear una fuente energética limpia que aproveche los desechos generados en la granja porcina de la finca “El Recuerdo”. Permitiendo a sus habitantes dejar de depender de electricidad o GLP para poder cocinar sus alimentos. Además como resultado de la investigación se obtuvo que el lodo descompuesto o biol es una fuente poderosa de nutrientes que serán utilizados en las plantaciones del lugar.

Existen varios métodos utilizados en el despliegue de este proyecto, con el método científico se logró profundizar en el análisis del proceso de generación de biogás a partir de desechos porcinos, este proceso biológico se desarrolla en ausencia de oxígeno lo que produce la generación de metano y gas carbónico principalmente llevada a cabo por colonias bacterianas.

Los biodigestores pueden ayudar a satisfacer cualquier necesidad energética, su dimensionamiento se realiza para optimizar el manejo de los desechos orgánicos disponibles, por lo que mediante el método analítico o matemático se llega a determinar la capacidad del tanque de la cámara de digestión al igual que el de almacenamiento que son de 1100 litros cada uno basándose en la cantidad de desechos porcinos producidos a diario en la granja y la cantidad de biogás generado en el proceso anaeróbico.

Los parámetros analizados con los anteriores métodos determina el método técnico en el cual se realizara el diseño y la construcción del biodigestor con los principales elementos que lo componen y con la finalización del proyecto, que impulsara al fortalecimiento de las energías renovables en el sector rural.

Abstract

The main objective of this project was to create a clean energy source that takes advantage of the waste of pigs generated in the farm "El Recuerdo". Allowing to the citizens to stop depending on electricity or LPG to cook their meals. Also as a result of the investigation, it was found that the decomposed side or biol is a powerfull sourace of nutrients that will be used in plantations.

There are several methods used in the deployment of this project, with the scientific method it was possible to deepen the analysis of biogas generating process from pig waste, this biological process is developed in the absence of oxygen, which results in the generation of methane and carbonic gas, this work it is made mainly by bacterial colonies.

Biodigesters can help to satisfy any energy requirement, the sizing is done to optimize the management of the organic waste available, through the analytical or mathematical method the capacity of the digestion chamber tank will be determined, as well as the storage which is 1100 liters each, based on the amount of pig waste produced daily in the farm and the amount of biogas produced in the anaerobic process.

The parameters analyzed with the previous methods determine the technical method in which the design and construction of the digester will be made, with the main elements that compose it and with the ending of the project, which will promote the strengthening of renewable energies in rural areas.

Introducción

La finca “El Recuerdo” está ubicada en la parroquia de Gualea, zona rural de la provincia de Pichincha donde al igual que la mayoría de zonas rurales la escases de GLP, su difícil traslado y alto precio al que es vendido, crea la necesidad de investigar e implementar una nueva forma de suplir la demanda energética para la cocción de alimentos, principalmente debido que no existe suministro eléctrico permanente.

Existe la necesidad de mantener abonados los cultivos con una dosis permanente de abono orgánico, así como también la de generar energía limpia utilizando un manejo adecuado de los desechos porcinos. La implementación del biodigestor permitirá que la finca cuente con una alternativa de energía, que pueda ser utilizada para la cocción de alimentos o en el funcionamiento de criadoras de pollos que funcionan con GLP.

Al contar con una granja porcina dentro de la finca se analizó la factibilidad de alimentar un biodigestor para la obtención de biogás, el dimensionamiento se realizó tomando en cuenta el posible incremento de animales que aportarían mayor producción de gas y biol.

Debido a lo expuesto se investigó y se obtuvo, que la propuesta más viable es el diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante, basado en los parámetros ideales para la finca como facilidad de construcción, cantidad de generación de biogás, efectividad y costo de construcción, datos fundamentales para realizar el dimensionamiento, sus respectivos planos conforme al diseño adecuado para el lugar y su construcción, priorizando el uso de materiales fáciles de encontrar en el mercado y que permitan al biodigestor tener una vida útil prolongada.

Capítulo I

Energías Renovables

1.1 Concepto

Las energías renovables son fuentes inagotables y de producción continua, los cuales no tienen ningún efecto negativo al medio ambiente ya que proceden en forma directa e indirecta de sol y tienen la capacidad de regenerarse mediante forma natural y continuar abasteciendo la producción de energía limpia. (Schallenberg Rodriguez , y otros, 2008, pág. 46)

1.2 Importancia

La importancia de la energía renovable radica en la necesidad de la humanidad de consumir energías limpias que aporten a la regeneración ambiental, puesto que el uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía ha ido desgastando el medio ambiente de forma irreversible.

El planeta se halla en una encrucijada trascendental con miras al futuro de la energía y el cuidado del medio ambiente, por lo que se busca una mayor producción de energía y disminuir al máximo las emisiones de gases de invernadero que son los que están atentando a la vida en nuestro mundo.

El desarrollo de investigaciones que se está fomentado para combatir la contaminación ambiental, ha hecho que estos últimos años se avance a pasos agigantados en la elaboración de sistemas de energías renovables. En el Ecuador se está aportando con la creación de diferentes sistemas de energía renovables, como

centrales hidroeléctricas que aprovechan la gran cantidad de ríos que tiene nuestro país con una mínima afectación a la naturaleza, también la creación de parques eólicos en diferentes puntos del país y biodigestores en empresas agropecuarias para la producción de biogás.

La energía es una de las principales razones de los conflictos en temas climáticos, económicos, sociales y al empezar la búsqueda e implementación de energía renovable, estamos formando parte esencial de la solución a estos conflictos.

Al padecer de accesibilidad a los servicios energéticos de calidad, que sean fiables y brinden escasos niveles de contaminación, la población más pobre se haya limitada de oportunidades para poder prosperar económicamente y aumentar su nivel de vida.

En las zonas rurales es muy importante la utilización de energía renovable puesto que no siempre se puede acceder a los recursos energéticos como electricidad o gas licuado de petróleo. El uso de energías limpias y producidas en una zona rural hace que las personas sean más productivas e independientes, puesto que producen su propia energía con el uso de paneles solares, bombas de ariete, biodigestores, etc. El biodigestor además de aportar energía totalmente limpia entrega abono de gran calidad.

1.3 Aspecto de uso de energías renovables

Como cabe recalcar el uso de energías y combustibles fósiles causan un gran daño al medio ambiente fomentando grandes niveles de contaminación a nivel mundial, además también tienen una cantidad limitada de reservas y un plazo de uso que se va reduciendo conforme transcurre el tiempo; por esta razón, la necesidad de encontrar nuevas formas de energía.

Las personas buscan de una u otra forma satisfacer la necesidad energética, para así efectuar sus actividades diarias, por lo que se ha decidido desarrollar otras formas de producir energía, a más de los diferentes tipos de energía que existen en la actualidad.

Las energías renovables tienen otros beneficios tanto para el ser humano como al medio ambiente.

1.4 Categorías de tecnologías de energía renovable

La energía renovable contiene una amplia categoría tecnológica para la producción de energía limpia como por ejemplo: energía eléctrica, energía térmica, energía mecánica entre otros. Estos tipos de energías nos ayudan a cubrir la alta demanda de servicios energéticos y pueden ser utilizados en diferentes lugares dependiendo de necesidad requerida, como en pequeña escala en los sectores rurales utilizado por gente del campo o en gran escala para el uso industrial. (Edenhofer, y otros, 2011, pág. 7)

En los años anteriores el uso de energía renovable ha tenido un incremento considerable ya que el gobiernos han visto la necesidad de buscar nuevas formas de energía que abastezcan tanto al nivel urbano como a nivel rural, opciones tales como: las hidroeléctricas, biocombustibles, aire en campos eólicos y la utilización directa del sol en sistemas fotovoltaicos lo que va aumentando el porcentaje de utilización de estas energías renovables y limpias a comparación de los productos fósiles, energía nuclear entre otras como se observa en la Figura I.

1. Representación de porcentaje de fuentes de energía a nivel mundial

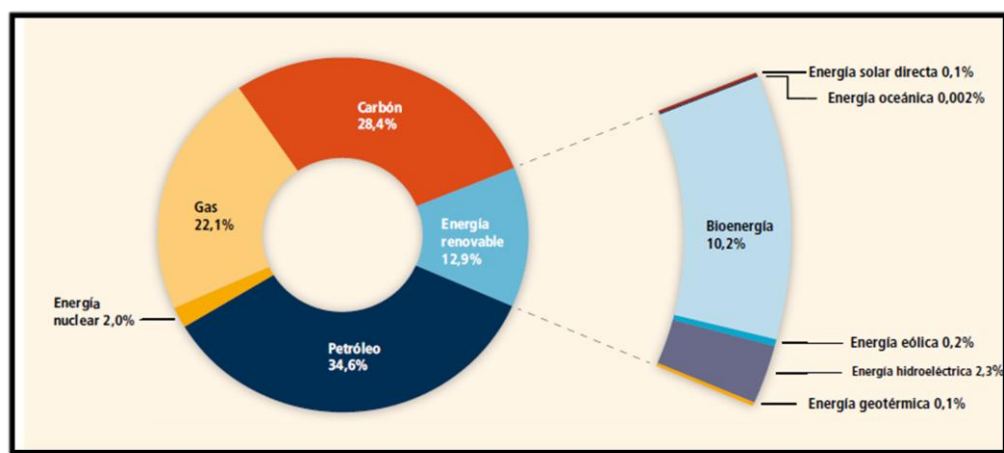


Figura 1. Fuentes energéticas utilizadas en el mundo.

Fuente: Schallenberg Rodriguez , y otros. (pág. 10, 2008)

1.5 Evolución de energía renovable

La evolución de la energía renovable en los conocimientos científicos y técnicos sirven para el mejoramiento del su funcionamiento y una gran reducción de los costos en la implementación de los sistemas de producción de energía, para continuar con los avances respectivos y la evolución de las energías renovables se deben aun tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Costos y fechas de futuras implementaciones de las energías renovables para así sustentar el costo beneficio del sistema.
- Planificación adecuada de la integración de los sistemas en diferentes zonas geográficas para el mejoramiento en un potencial técnico.
- Evaluación de los aspectos socioeconómicos y medioambientales de las energías renovables. (Edenhofer, y otros, 2011, pág. 26)

1.6 Biodigestores

El biodigestor es una opción sencilla y practica para la producción de biogás que permite utilizar los desechos orgánicos de animales, humanos, e incluso algunos desechos de cosechas. La energía producida por un biodigestor es limpia y renovable lo cual no tiene ningún aspecto negativo contra el medio ambiente.

1.6.1 Historia de los biodigestores

El ser humano a lo largo de los años ha ido interesándose por el desarrollo de energías que puedan ser utilizadas para el beneficio propio. En el ámbito rural la necesidad de obtener energía a menor costo, de fácil acceso y la obligación de manejar responsablemente los desechos orgánicos hacen que se fusionen ambas necesidades para encontrar una alternativa muy conveniente que las satisfaga y aparte brinde una gran aportación adicional que es la producción de abono orgánico que bien puede usarse para el desarrollo de cultivos en el área rural donde sea instalado el biodigestor.

A comienzos del año 1808 empezó la investigación de la descomposición del gas metano, a partir de los desechos orgánicos especialmente del estiércol vacuno, el

investigador quien dio los primeros pasos de la producción del gas metano fue Hymphry Davy. Después de esto pasaron varios años para que Louis Pasteur en 1884 llegara a la idea de la fermentación de los desechos, lo cual sería una gran fuente de energía para diferentes tipos de usos. Así como lo hizo Donald Cameron aplicándolo en el año de 1896 al modificar de tal forma un tanque séptico para producir su propio gas. Con esta forma de producción de biogás en el año 1900 se alcanzó a accionar un motor eficazmente.

Para la década de los años 70 existió una gran crisis de energía y se vio en la necesidad de implementar este tipo de energía en diferentes lugares especialmente en zonas rurales, el alcance de implementación de los biodigestores eran de pequeña y mediana escala. Los países que lograron eficazmente implementar esta tecnología gracias a la ayuda financiera de sus respectivos gobiernos fueron China e India y desde ese momento ha fomentado la construcción de biodigestores para la ayuda energética. (Butti, Huerga , & Venturelli, 2014, pág. 6)

1.6.2 Funcionamiento

El funcionamiento de un biodigestor es el siguiente:

Los desechos orgánicos deben ser introducidos en una cámara denominada reactor y debe estar aislada de oxígeno, todo este procedimiento se realiza con el fin de producir biogás mediante un proceso anaerobio que lo realizan bacterias en distintas fases del proceso conocido como biodigestión, después del proceso de fermentación durante los días necesarios el biogás es producido, el cual pasa por diferentes filtros de depuración como la trampa de agua y el filtro para sulfuro de hidrogeno, luego sigue por la tubería de transportación hasta llegar al reservorio para ser almacenado, antes de poder ser empleado en sus respectivos usos, este pasa por

una trampa de llama que es usado como un filtro de seguridad para que finalmente el biogás pueda ser utilizado en cocinas o calentadores de agua.

2. Proceso de funcionamiento de biodigestor

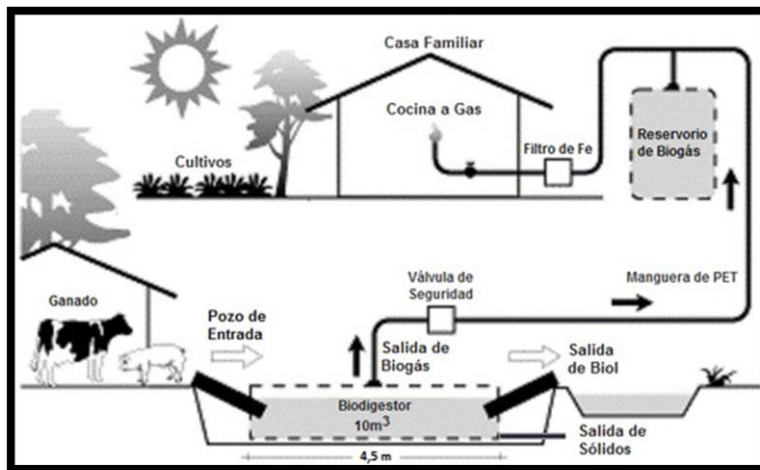


Figura 2. Ciclo de funcionamiento de elaboración de biogás.

Fuente: (Energizar, 2015)

Capítulo II

Biomasa

2.1 Definición

La biomasa es materia viva que comienza a partir de la luz solar entregada a las plantas, las cuales mediante el proceso de fotosíntesis convierte la energía del sol en sustancias químicas que poseen muchos elementos orgánicos y que ser aprovechadas y transformadas por los animales para producir biocombustible.

2.3 Características de la biomasa

La biomasa posee características sorprendentes desde un punto de vista de la combustión:

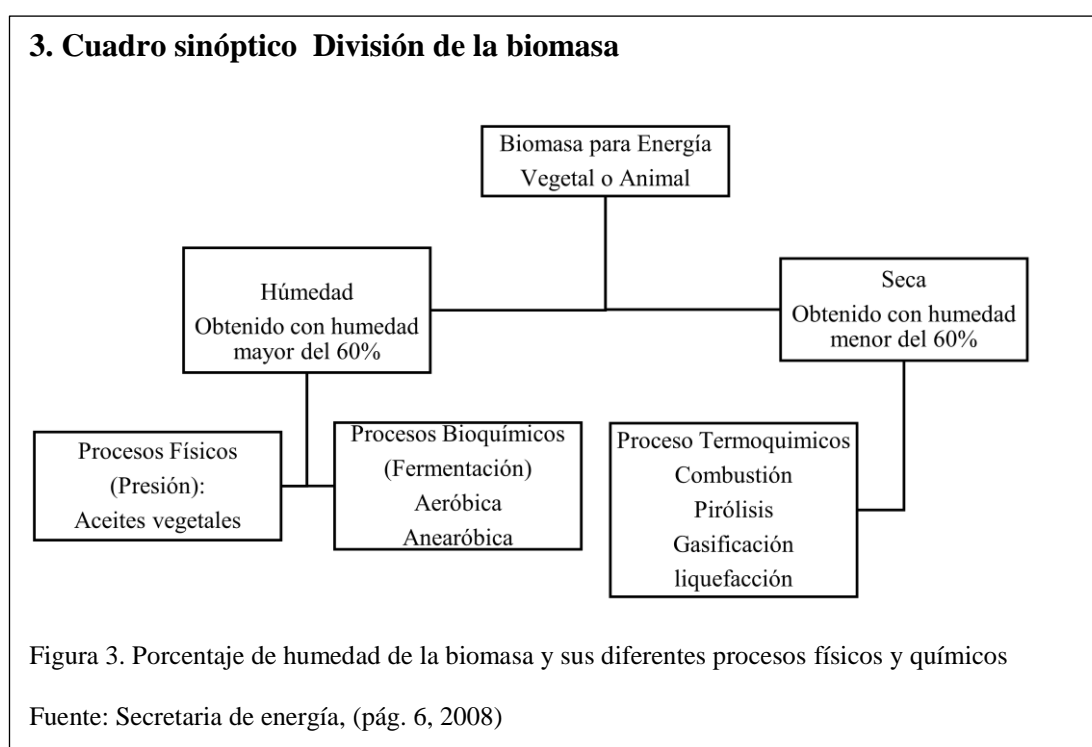
- Posee bajo contenido de carbono.
- Contiene gran contenido de oxígeno.
- Contiene altos porcentajes de compuestos volátiles:

Estos compuestos volátiles están conformados por grandes cadenas de C_nH_m (Hidrocarburos), CO_2 , CO , H_2 y estos son los que generan el poder calorífico que contienen la biomasa.

- No contiene grandes cantidades de azufre.
- Las emisiones de CO_2 son neutras por lo cual se evita la generación de gases de invernadero. (Secretaría de energía, 2008, pág. 6)

2.4 División de la biomasa

La división de la biomasa puede establecerse en dos grupos muy importantes para la producción de energía como podemos observar en el siguiente cuadro sinóptico:



2.4.1 Biomasa húmeda

Se conoce como biomasa húmeda cuando dicha masa contiene de un porcentaje superior al 59% de humedad y mediante procesos químicos y físicos podemos obtener dos tipos de biocombustibles líquidos y gaseosos.

Este tipo de biomasa puede ser generada de distintas materias primas por ejemplo:

- Residuos vegetales.
- Residuos animales.
- Aguas residuales. (Secretaria de energía, 2008, pág. 7)

2.4.2 Biomasa seca

Se conoce como biomasa seca aquellas materias primas con un porcentaje menor al 59% de humedad y para la producción de energía se utilizan procesos termoquímicos y fisicoquímicos, esto llega a generar una gran cantidad de energía térmica para ser utilizada; unas de las principales materias primas de biomasa seca son la leña y la paja. (Secretaria de energía, 2008, pág. 7)

2.5 Biodigestión

2.5.1 Digestión anaerobia

El proceso de digestión Anaeróbica requiere de la descomposición del material biodegradable en ausencia total de oxígeno o nitratos y como consecuencia se logra obtener dos productos.

El primero es el biogás, que es el objetivo de nuestra investigación posee una alta proporción en metano (CH_4) en una concentración mayor al 60% y aporta una potencia calorífica inferior del orden de 5500 kcal/m^3 y el segundo denominado digerido, que es el lodo estabilizado.

Para tener un amplio aprovechamiento de este proceso la tecnología se ha desarrollado los llamados biodigestores que son reactores cerrados donde se controlan distintas variables como temperatura, humedad, pH para ayudar a llevar a cabo el desarrollo de la fermentación anaeróbica.

El proceso de digestión anaeróbica también se desarrolla de forma espontánea en la naturaleza; por ejemplo en pantanos y hasta en el estómago de los animales.

2.5.2 Proceso biológico

El proceso biológico que debe cumplir la digestión anaerobia está determinado por reacciones bioquímicas y la intervención de múltiples poblaciones de bacterias.

Las poblaciones bacterianas actúan catalizando tres procesos consecutivos: hidrólisis, acidogenesis, y metanogenesis estableciendo cuatro fases descritas a continuación:

2.5.2.1 Etapa hidrolítica

En la etapa hidrolítica de la generación de biogás se encuentra la materia orgánica que contiene diferentes tipos de compuestos como por ejemplo hidratos, proteínas entre otros; en esta etapa se realiza un proceso de despolimerización que consiste en disminuir el peso molecular de los polímeros contenidos en los desechos, ya que actúan las enzimas en la estructura de los compuestos como ácidos, azúcares, proteínas, aminoácidos etc. mediante esta etapa las bacterias son las encargadas de generar el proceso enzimático. (Castells, Campos, & Flotats, 2012, pág. 618)

2.5.2.2 Etapa acidogénica (I)

En la etapa acidogénica se obtiene ácidos grasos los cuales son volátiles después del proceso en la etapa hidrolítica, en el cual se logra obtener elementos solubles. Algunos ácidos obtenidos a partir de este proceso son: ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico. (Castells, Campos, & Flotats, 2012, pág. 618)

2.5.2.3 Etapa acetogénica (2 y 3)

En la etapa acetogénica la cual se produce en la mitad de todo el proceso los elementos son procesados por unas bacterias conocidas como acetogénicas las misma que necesitan una baja presión de hidrogeno para así lograr producir cantidades aceptables de metano, aparte de este se obtiene ácidos, dióxido de carbón e hidrogeno, no obstante las reacciones bioquímicas dependen mucho de los mismos. (Castells, Campos, & Flotats, 2012, pág. 619)

2.5.2.4 Etapa metanogénica (4y5)

La etapa matanogénica esa la fase de finalización para la obtención de CH₄ Y CO₂ en la que sustancias producidas anteriormente como los diferentes ácidos, entre otros llegan a su transformación final, para lo cual existen dos clases de microorganismos; la primera clase es la que cesan al ácido acético producido en la etapa acidogénica y acetogénica y se los denomina bacterias metanogénicas acetoclásticas, por otra parte la otra clase de bacterias llamadas metanogénicas hidrogenófilas son las que disipan el hidrogeno.

La mayor cantidad de metano generada es mediante el proceso de las bacterias metanogénicas acetoclásticas, que alcanzan a generar un 70% de producto bruto, pero solo algunos microorganismos son capaces de producir metano a partir del ácido acético; por lo que se recomienda mantener un equilibrio de los microorganismos mediante las mezclas. (Castells, Campos, & Flotats, 2012, pág. 619)

A continuación se presentará un cuadro sinóptico 2 en que describe las fases de fermentación para la producción de gas:

4. Fases de Fermentación

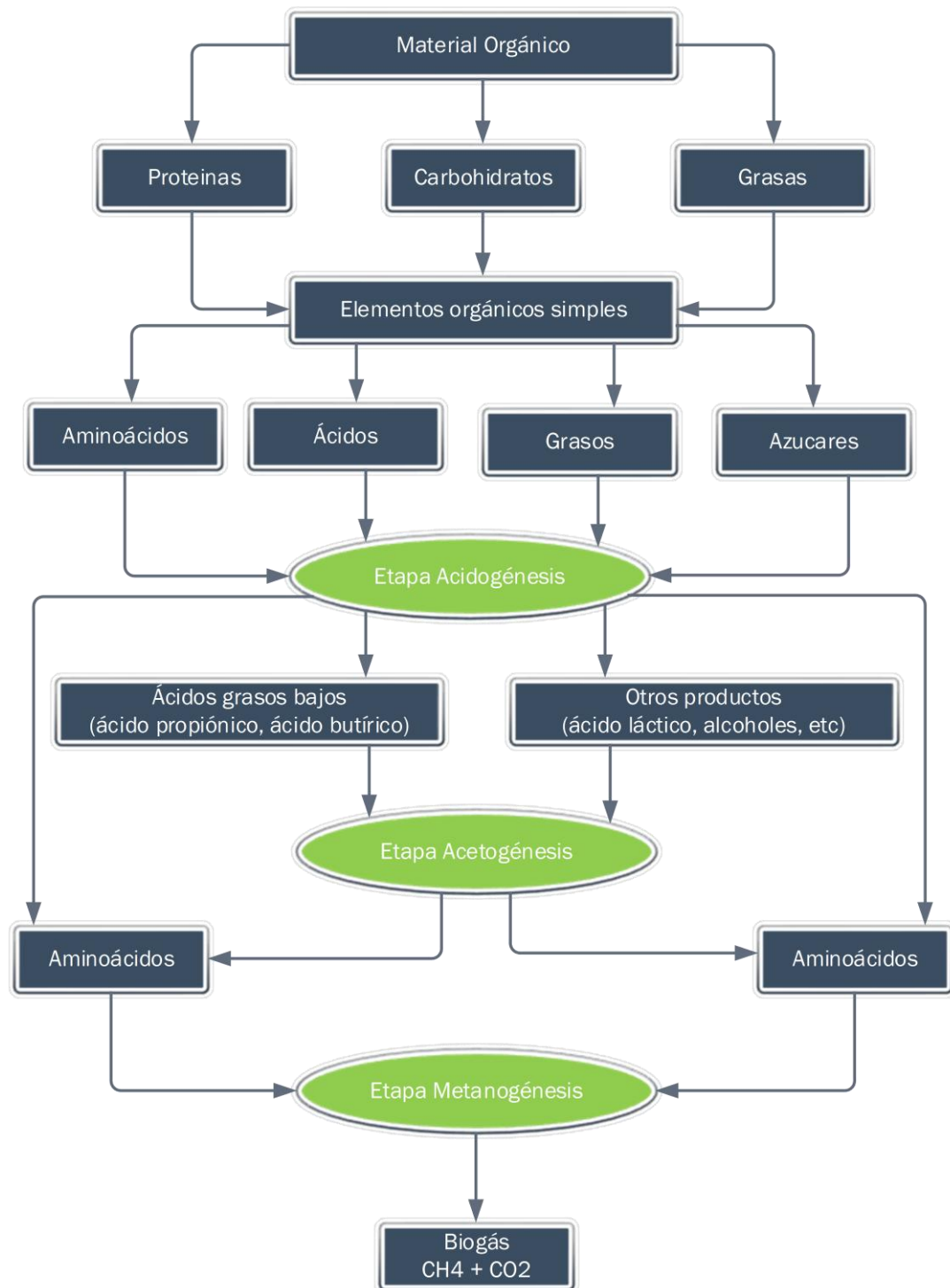


Figura 4. Compuestos del material orgánico y los diferentes etapas de fermentación

Fuente: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), (pág. 21, 2010)

2.6 Clasificación de los biodigestores

Los biodigestores pueden clasificarse según la frecuencia de alimentación de los mismos y de acuerdo al funcionamiento.

2.6.1 Tipos de biodigestores según frecuencia de alimentación

2.6.1.1 Biodigestores de tipo continuo

Esta alternativa de biodigestores es utilizada cuando la carga de alimentación del biodigestor es permanente y consiste en que una vez suministrada la primera carga, se sustente la alimentación regularmente. La biomasa que va a ser utilizada en la carga ya debe estar mezclada con agua y se realizara en el exterior previamente a la alimentación.

Este tipo de biodigestor debe poseer un componente de salida en el cual se expulsaran los lodos contenedores de los elementos fertilizantes como se puede observar en la figura 3.

5. Biodigestor continuo

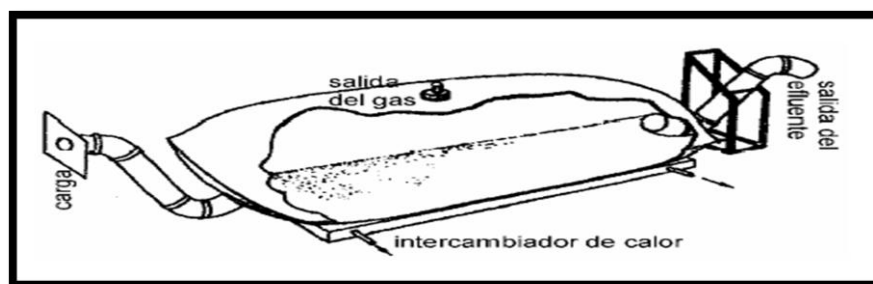


Figura 5.

Fuente: Carrillo, (pág. 38, 2004)

Cuando el proceso de biodigestión se ha consolidado la producción del biogás es muy constante, se debe cuidar que la alimentación del reactor sea permanente y su temperatura debe mantener los rangos adecuados. (De la Torre Caritas & Ulpiano Ruiz-Rivas, 2008, pág. 64)

2.6.1.2 Biodigestores tipo batch/lote

Esta alternativa es caracterizada por albergar en su interior a una sola carga en total y al finalizar el proceso de digestión se evacuan los residuos por otro orificio.

La carga suministrada será la que se digiera y a partir de la cual se generara el biogás por lo tanto no habrá recirculación de carga que posibilite mantener los niveles de gas natural generado, debido a esto una vez transcurrido el tiempo de retención se descarga y se alimenta nuevamente.

Este tipo de biodigestor es aconsejable cuando la carga de alimentación del biodigestor se encuentra en forma intermitente e irregular además en esta carga pueden incluirse materiales celulósicos que no serían digeridos en digestores de tipo continuo ya que estos pueden taponarse.

Otra ventaja de este tipo de reactor es que pueden digerir altos contenidos de residuos sólidos y de esta manera también se minimiza el uso de agua para la mezcla.

Para mejorar la producción de gas natural se pueden utilizar diferentes líneas de biodigestores y ser cargados en distintos tiempos y así poder tener una producción más regular. Este modelo también es usado a nivel de laboratorio donde se puede dar seguimiento al comportamiento de algún residuo orgánico que se desee analizar. (De la Torre Caritas & Ulpiano Ruiz-Rivas, 2008, pág. 62)

2.6.1.3 Biodigestores de tipo semicontinuo

Este tipo de biodigestores son la fusión entre los biodigestores de tipo continuo y los del tipo discontinuo brindan las ventajas tanto del uno como del otro.

En este modelo el volumen de carga que ingresa desplaza una porción equivalente de afluente que saldrá del biodigestor.

Por lo general este reactor se carga de forma diaria y a diferencia del de tipo discontinuo su descarga total se realiza una o dos veces al año, que suele coincidir con la temporada de siembra para aprovechar los lodos fertilizantes en el proceso.

Este modelo es el más acogido y conocido a escala mundial, en su diseño y construcción pueden existir pequeñas variaciones pero todos tienen el mismo principio de funcionamiento. Los diseños más comunes son el tipo chino y el hindú. (De la Torre Caritas & Ulpiano Ruiz-Rivas, 2008, pág. 65)

2.6.2 Tipos de biodigestores según su funcionamiento

2.6.2.1 Biodigestores tipo hindú o de campana flotante

Esta práctica se inició en la India luego de la segunda guerra mundial debido a los escasos de combustibles fósiles y la necesidad de la población de tener una alternativa de energía de fácil acceso.

Con el mejoramiento de la situación mundial y el incremento de uso de combustibles este método poco a poco fue dejado de lado aunque en la mayoría de zonas rurales tiene gran acogida por su bajo costo y gran aporte energético a familias de escasos recursos.

Además de ser energía 100% limpia y renovable que fortalece sus sembríos por un lado y por el otro ayuda a disminuir el consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles. Este biodigestor funciona bajo presión constante y es de sencillo manejo ya que fue ingeniado para que sea operado por campesinos con nula formación en este aspecto. El reactor debe ser alimentado diariamente y el tiempo de retención vendrá estimado por la temperatura donde esté instalado, la producción de biogás será bastante constante de sustentarse en condiciones óptimas de operación.

6. Biodigestor campana flotante

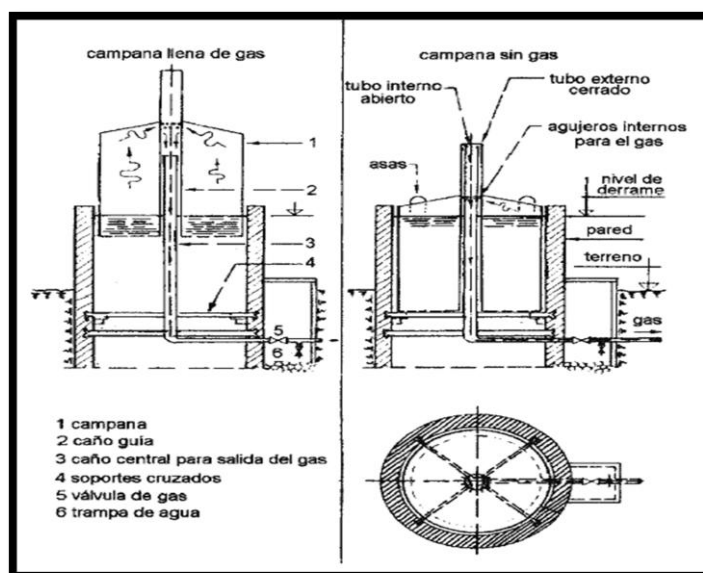


Figura 6.

Fuente: Carrillo, (pág. 37, 2004)

El modelo cuenta con un tambor que puede ser de ladrillo, hormigón o plástico reforzado y el gas es alojado en la parte superior del mismo cuando está lleno la cúpula flotante asciende mientras que al consumir el gas su nivel disminuye. El biodigestor solo se descargara en su totalidad cuando se requiera alguna reparación (De la Torre Caritas & Ulpiano Ruiz-Rivas, 2008, pág. 66)

Ventajas

- La presión del biogás es constante
- La cantidad de biogás puede ser medido con el nivel en el que se encuentre la campana.
- Su operación y manejo lo puede realizar cualquier persona ya que es muy sencillo el proceso.
- Recibe desechos diariamente

Desventajas

- Aunque en el biodigestor se manejan presiones constantes su magnitud se encuentra relativamente baja.
- El costo de la campana flotante resulta alto debido a las características que debe poseer para realizar el trabajo al que está destinada.

2.6.2.2 Biodigestores tipo chino o de cúpula fija

A diferencia de la India en la China el objetivo principal de crear un biodigestor no era la obtención del biogás si no manejar adecuadamente los desechos y producir fertilizante orgánico. Los modelos chinos fueron creados como una opción de mejora del modelo Hindú y se dieron a conocer en los años 50 Y 60.

7. Biodigestor tipo chino

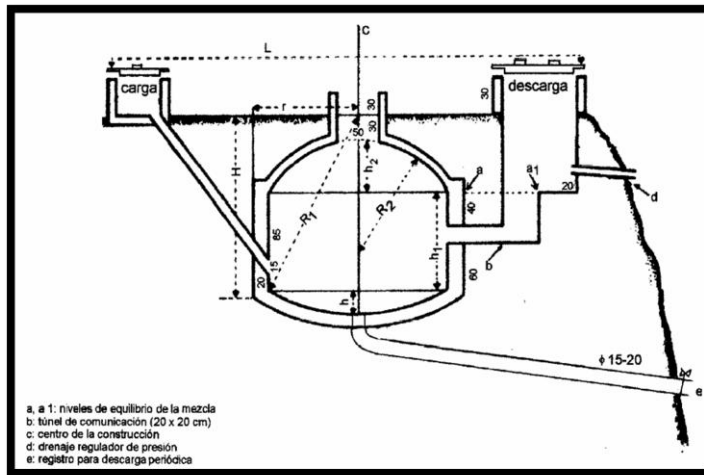


Figura 7.

Fuente: Carrillo, (pág. 36, 2004)

El reactor tipo chino opera con presión de gas variable por que posee un sistema estático. La desventaja más limitante que presenta este modelo es que necesita técnicos especializados para construir la estructura y su elevado costo de introducción.

Este biodigestor está construido de materiales como piedra, cemento ladrillo por que el objetivo es que su estructura sea fija debido a que soporta altas presiones. Al empezar la producción de biogás el ingreso de la carga al biodigestor hace que se evacue una cantidad proporcional por la salida del afluente, esto gracias a la presión que genere el gas.

Este diseño elimina la construcción del tambor utilizado en el tipo hindú que normalmente es hecho de acero por lo que existiría corrosión. El biodigestor se debe cargar hasta un nivel del 70% de forma semicontinuo y después la forma de alimentación debe ser continua para que el afluente se siga evacuando.

Ventajas

- La ventaja que puede presentar este reactor es que el periodo de vida útil puede ser muy extenso, en promedio 20 años que en comparación al resto de biodigestores es el doble.
- Carece de partes móviles, esto hace que su periodo estimado de vida sea mayor.
- Entre sus partes no se utilizan materiales metálicos lo que influye para que su mantenimiento sea menor.

Desventajas

- Como desventaja se puede hallar que su capacidad de almacenamiento es baja y debería tener un tamaño demasiado grande para aumentar su producción de gas natural y lodos fertilizantes. (De la Torre Caritas & Ulpiano Ruiz-Rivas, 2008, pág. 70)
- Su funcionamiento no es a presión constante.

2.6.2.3 Biodigestor tipo bolsa o salchicha

Este tipo de biodigestor es uno de los más económicos en cuestión de fabricación y es hecho de materiales flexibles y de fácil acceso, el polietileno es predominante en esta instalación además de ser resistente es flexible.

La bolsa o salchicha de polietileno es utilizada en su mayor proporción como cámara de digestión donde se realizara el proceso de fermentación y almacena una cantidad de gas natural que será destinada a otra bolsa para albergar el biogás hasta el momento de consumo.

Este reactor opera con presiones bajas y tiene la ventaja de permitir la cantidad de biogás albergado en su interior gracias al llenado de la bolsa de almacenamiento.

El dispositivo suele ubicarse directamente sobre el suelo y en lugares donde las temperaturas son más bajas se hace una fosa que sirva de aislamiento térmico para disminuir el tiempo de retención que en zonas de paramo puede llegar a ser muy extenso. En condiciones normales la producción de biogás deberá empezar luego de tres semanas que se realiza la primera carga de alimentación. Se recomienda hacer su instalación con mucho cuidado debido a que la bolsa puede ser perforada y se obtendrían pérdidas importantes en el sistema. (De la Torre Caritas & Ulpiano Ruiz-Rivas, 2008, pág. 74)

8. Biodigestor tipo salchicha

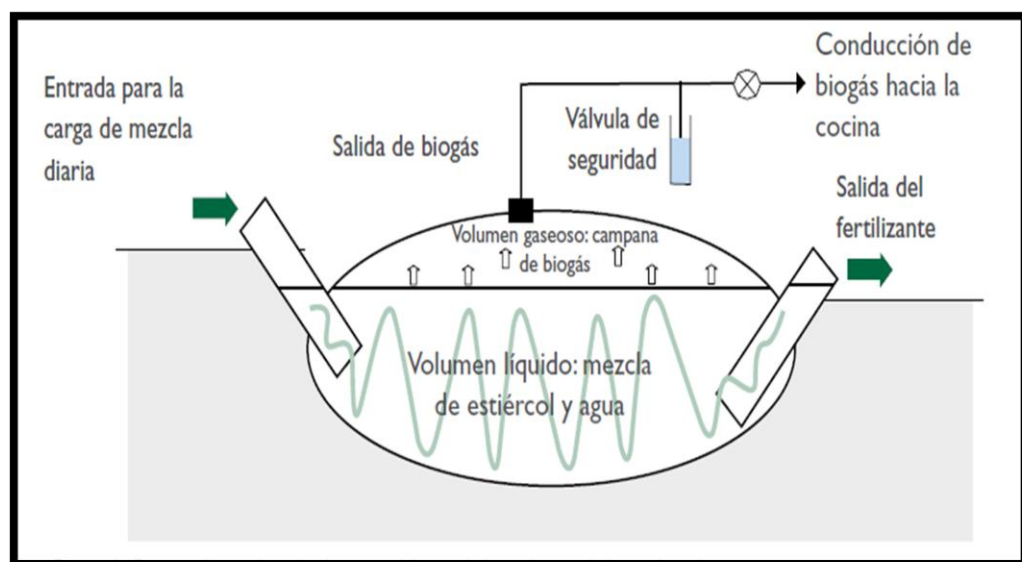


Figura 8.

Fuente: Herrero, (pág. 28, 2008)

Ventajas

- El bajo costo de los materiales hacen que sea una alternativa muy llamativa y su fácil transportación aportan a su elección.
- Las pérdidas se minimizan puesto que el plástico que se utiliza debe ser instalado herméticamente.
- Se lo puede instalar en zonas de difícil acceso y la facilidad de operación y mantenimiento hacen que cualquier persona lo pueda manipular y aprovechar sus ventajas.

Desventajas

- Poseen un periodo de vida útil muy corto, se estima que la instalación debe ser cambiada en su totalidad cada tres años.
- Presenta vulnerabilidad a cambios climáticos y a la presencia de animales y personas puesto a que la mayoría de sus componentes son muy frágiles y el plástico puede presentar pequeñas fugas que si no se tratan a tiempo afectaran al proceso anaerobio.

2.6.3 Análisis cuantitativo de los biodigestores

A partir de diferentes aspectos que tienen cada uno de los biodigestores se procederá a calificar de una escala de 1-2 siendo muy mala, 3-4 regular, 5-6 bueno, 7-8 muy bueno y 9-10 excelente, este análisis nos ayudara a determinar que biodigestor es el más eficiente, económico y el que será más recomendable de fabricar. En la siguiente tabla se podrá observar la calificación de las diferentes características de los biodigestores:

Tabla 1 Análisis cuantitativo

| | TIPOS DE BIODIGESTORES | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|--------------|
| Análisis cuantitativo | Salchicha | Campana Flotante | Chino |
| Facilidad de construcción | 6 | 9 | 4 |
| Generación de biogás | 7 | 9 | 8 |
| Almacenamiento de biogás | 7 | 8 | 7 |
| Costo de construcción | 6 | 9 | 6 |
| Tiempo de retención | 6 | 9 | 5 |
| Facilidad de extracción de fertilizante | 8 | 10 | 7 |
| Efectividad de mezclado | 5 | 9 | 7 |
| Duración de vida útil | 5 | 10 | 8 |
| Mantenimiento | 6 | 10 | 7 |

Nota: Análisis numérico de cada uno de las opciones de biodigestores

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

En cada uno de los puntos y las calificaciones dadas a los diferentes tipos de biodigestores la opción más factible es la de campana flotante, ya que tiene un bajo costo de construcción por los materiales a utilizar, la simplicidad de generación y recolección de fertilizante que ayudara fácilmente por la misma presión ejercida por el líquido de producción de biogás y una de las cosas más importantes que tenemos

que recalcar es su vida útil y mantenimiento, ya que requiere una revisión superficial de tanque cada cierto tiempo ya que la duración del tanque productor es de 45 años, al igual que el tanque de almacenamiento de biogás,

2.7 Selección de alternativa

El biodigestor elegido para construir en la finca “El Recuerdo” ubicada en la parroquia de Guala es el de tipo hindú o campana flotante. Su elección se ha determinado luego de haber investigado los distintos tipos de alternativas existentes, sus ventajas, costos de instalación y además los requerimientos de los usuarios. Entre los puntos relevantes que conllevan a la elección de este reactor están los siguientes:

2.7.3 Disponibilidad de desechos

La finca posee una granja porcina muy bien adecuada que proporciona a diario la carga que alimentará el biodigestor, además dispone de agua para componer la mezcla.

2.7.4 Necesidad de fertilización con abonos orgánicos

La finca “El Recuerdo” cuenta con sembríos de cítricos, hortalizas, fruta que necesitan un manejo de fertilización adecuado y responsable con el medio ambiente. El uso de abonos orgánicos mejora la producción de los diversos cultivos a más de cuidar la salud de los consumidores y proteger el suelo donde es utilizado.

2.7.5 Manejo responsables de desechos

El manejo de los desechos es una de las problemáticas más importantes en las zonas rurales, un manejo responsable ayuda a disminuir la emisión de olores, mejora

la calidad de vida de los habitantes y ayuda al crecimiento sostenible de la actividad agrícola.

2.7.6 Consumo de energía limpia

En las zonas rurales el suministro de energía eléctrica no es constante, además la disponibilidad de GLP dependerá del incremento del precio debido al retiro del subsidio para este combustible que está previsto para los próximos meses, por esto y para mantener una intervención amigable con el medio ambiente que sirva como ejemplo para habitantes de esta parroquia de utilizar y producir energía renovable es importante la implementación de este proyecto como plan piloto en la parroquia de Gualea, con el objetivo de crear conciencia ecológica y sumar esfuerzos para proteger el ecosistema con la incorporación de proyectos similares.

Capítulo III

Biogás

3.1 Definición

Se denomina biogás a la combinación de varios productos entre los más principales CH_4 conocido como metano y se encuentra en un porcentaje entre el 50% al 60%, el otro componente es el dióxido de carbono que es complementado con los diferentes compuestos como hidrogeno, sulfuro, nitrógeno y ácido sulfhídrico para conformar el biogás. (Hilbert, 2010, pág. 34)

3.2 Características para la obtención de biogás

Existen varias características que se deben tomar en cuenta para la obtención de biogás los cuales son las siguientes:

- Temperatura del medio ambiente, esto depende del entorno en el que se trabaje.
- Tiempo de retención para la producción del biogás y esto depende tanto de la cantidad de materia prima como la temperatura.
- Carencia de oxígeno en el digestor para que se desarrolle la etapa metanogénicas.
- Valoración de PH para el crecimiento de bacterias.
- Relación de mezcla de la carga de alimentación, la cual es entre materia prima y agua.

3.3 Temperatura

La temperatura promedio de la zona es de 20°C lo que ayuda a disminuir el volumen de biodigestor debido a que el tiempo de retención no es tan extenso y se evitara construir el reactor con aislamiento térmico. Todo esto favorece a que el costo de fabricación no sea excesivo.

Como se pudo definir la temperatura es el principal factor a considerar para la instalación de un biodigestor entre mayor temperatura exista, mayor va hacer la eficiencia del biogás y menor será el tiempo de retención para que este se produzca mediante la digestión como podemos identificar en la siguiente tabla:

Tabla 2 Temperaturas de producción de biogás

| Temperatura (°C) | Tiempo de retención (Días) | Eficiencia m3 biogás/ m3 digestor |
|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| 10 - 25 | 50 – 70 | 0,01 - 0,30 |
| 30 - 40 | 20 – 30 | 0,70 - 1,00 |
| 40 - 55 | 10 -20 | 1,00 - 2,00 |

Nota: Tiempo estimado de producción de biogás debido a la temperatura del lugar.

Fuente: Hilbert, (pág. 45, 2010)

3.4 Composición del biogás

La composición del biogás se divide en diferentes compuestos con sus respectivos niveles o porcentajes en el producto final los cuales se pueden detallar en la tabla 2 respectivamente:

Tabla 3 Composición del biogás

| Compuesto | Porcentaje % |
|---------------------|--------------|
| Metano | 50 - 75 |
| Gas carbónico | 30 – 40 |
| Hidrogeno | 5 – 10 |
| Nitrógeno | 1 – 2 |
| Monóxido de carbono | 25 – 45 |
| Oxígeno | 0,1 |
| Ácido sulfúrico | 0 – 1 |
| Vapor de agua | 2 – 7 |

Nota: Porcentaje estimado de cada uno de los componentes del biogas.

Fuente: Unidad de planeación minero energética, (pág. 9, 2003)

3.5 Principio de combustión del biogás

Como se conoce la combustión es un proceso de una reacción química en que contiene oxígeno, este proceso se lo conoce como oxigenación y a su vez también entra un proceso de oxidación, por lo que gracias a0 los mismos genera una gran cantidad de energía, para así poder ser transformados o utilizados en diferentes aplicaciones.

3.6 Aplicaciones de biogás

Existen varias aplicaciones para el uso de biogás producido a través de un biodigestor como también para la materia prima ya utilizada, mediante la utilización de un m³ podemos llegar a realizar los siguientes procesos de transformación del biogás:

- **Cocción de alimentos**

En el proceso de cocción de alimentos se lograra a cocinar en un promedio de 3 veces al día para una familia conformada por cuatro personas y con una excelente temperatura de llama.

- **Calefacción avícola**

Esta generación se produce por la quema del biocombustible y se estima que puede durar un promedio de 4 a horas diaria con un m³ de biogás lo que ayudaría al cuidado de los pollos criados en la finca.

- **Calentamiento de agua**

En esta aplicación se lograra calentar un termostato de 100 litros para un promedio de 3 horas de uso o también para el uso de un calefón.

- **Iluminación**

Mediante la combustión del biogás podemos encender lámparas de gas, que llegarían a funcionar en un promedio de 10 a 12 horas continuas dependiendo de la calibración de la salida de biogás.

- **Generación de energía**

Con la utilización de un generador eléctrico de gas se logra alcanzar en promedio 6.25 kW de energía con la combustión de 1m³ de biogás y para el consumo mensual de una familia está entre 180 a 200 kW lo cual satisface la demanda del producto.

- **Transformación en energía mecánica**

Por medio de la combustión del gas se puede lograr accionar un motor de 1 Hp durante el lapso de una hora y media a dos horas, el cual se puede utilizar en diferentes tipos de trabajos.

Tal como se puede ver en la siguiente tabla se aprecia el nivel de consumo de cada una de las aplicaciones en forma más detallada:

Tabla 4 Consumo y rendimiento de aplicaciones

| Aplicación | Consumo | Rendimiento % |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Quemador de cocina | 0.3 – 0.6 m ³ /h | 50 - 60 |
| Lámpara de gas 60W | 0.12 – 0.17 m ³ /h | 30 - 50 |
| Heladera de 100 L | 0.03 -0.075 m ³ /h | 20 - 30 |
| Motor a gas | 0,5 m ³ /h | 25 - 30 |
| Quemador de 10 kW | 0.002 m ³ /h | 80 - 90 |
| Calentador infrarrojo 200 W | 0.03 m ³ /h | 95 - 99 |

Nota: Aplicaciones en las cuales se puede usar el biogás con su respectivo nivel de consumo.

Fuente: Hilbert, (pág. 36, 2010)

3.7 Materia prima

Para la obtención del producto final en este caso el biogás y fertilizante orgánico, se tiene diferentes opciones de materia prima, pero cabe recalcar que algunos productos son mejores que otros, ya que depende también de las bacterias y la composición del material a utilizar, en el caso de este proyecto se utiliza el desecho orgánico porcino y una mezcla con bagazo de caña de azúcar.

La composición del excremento porcino puede distinguirse en la siguiente tabla 5:

Tabla 5 Compuestos del excremento porcino

| Compuestos | % |
|-------------------------------|----------|
| Materia seca | 27 |
| Proteína cruda | 16 |
| Grasas brutas | 5 |
| Fibra cruda | 17,5 |
| Cenizas | 12 |
| Extractos libre de nitrógenos | 49,8 |
| Calcio | 0,61 |
| Fósforo | 1,3 |
| Nutrientes | 71 |
| Pared celular | 44 |

Nota: Porcentaje de los diferentes compuestos del excremento porcino.

Fuente: Landín, (pág. 9, 2007)

El porcentaje de cada uno de los elementos puede variar dependiendo de la alimentación de los animales pero eso no afecta en promedio la producción de biogás generado por esta tipo de materia prima, ya que la producción de gas intervine las bacterias en las diferentes etapas mencionadas en el capítulo II.

El porcentaje producción de biogás en m³ de los diferentes materiales se puede estimar en la siguiente tabla 5 la cual ayuda también para el dimensionamiento del biodigestor y de la cámara de almacenamiento del biogás.

Tabla 6 Producción de biogás por animal

| Animales | % por peso vivo | | % del material de digestión | | P – Producción de biogás (m3 de gas / 1 kg So) |
|-----------------|------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------|---|
| | PE – Estiércol | PO – Orina | % EST Solidos | % SO Sol. Orgánicos | |
| Vacunos | 5 | 4 | 15 – 16 | 13 | 0,250 |
| Cerdos | 2 | 3 | 16 | 12 | 0,350 |
| Caprinos | 3 | 1,5 | 30 | 20 | 0,200 |
| Caballos | 5 | 4 | 25 | 15 | 0,250 |
| Avícolas | 4,5 | 4,5 | 25 | 17 | 0,400 |
| Humanos | 1 | 2 | 20 | 15 | 0,300 |

Nota: Producción de biogás por animal dependiendo de la cantidad de materia prima.

Fuente: Unidad de planeación minero energética, (pág. 33, 2003)

Tabla 7 Producción de biogás por materia orgánica

| Material | %EST Solidos Totales | % Solidos Orgánicos | P - Producción de biogás (m3 de gas / 1 kg So) |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---|
| Paja de arroz | 89 | 93 | 0,220 |
| Paja de trigo | 82 | 94 | 0,250 |
| Paja de maíz | 80 | 91 | 0,410 |
| Hierba fresca | 24 | 89 | 0,410 |
| Bagazo | 65 | 78 | 0,160 |
| Desechos de verdura | 12 | 86 | 0,350 |
| Desechos orgánicos de cocina | 15 | 10 | 0,250 |

Nota: Diferentes tipos de materias primas

Fuente: Unidad de planeación minero energética, (2003, pág. 33)

3.8 Bioabono

El bioabono es el producto que se obtiene de la degradación y fermentación de la materia prima en este caso de los excrementos porcinos y del bagazo de caña de azúcar. Este producto también es conocido como biol el cual sale por la boca de descarga del biodigestor sin necesidad de algún otro elemento, este compuesto siendo neutralizado de algunas sustancias y elementos que permiten la creación de biol durante la producción de gas natural y por lo cual es un poderoso fertilizante que se puede colocar sobre cualquier sembrío.

Esto ayuda a que no se necesite fertilizantes químicos en las plantaciones, ya que esto puede provocar daños a la salud y entre otros problemas.

3.8.1 Ventajas del bioabono

En el proceso de descomposición y la vinculación de las bacterias, hacen que en la materia prima se neutralicen algunas sustancias que no son beneficiosas para utilizar como fertilizante en los suelos y el este tipo de biol no provocan daño al mismo esto también ayuda a que el suelo sea más fértil y mucho más productivo al utilizar directamente el estiércol ya que este finaliza su fase de fermentación y es uno de los mejores fertilizantes, tanto así que es un excelente bioabono para las plantas ya que no daña sus raíces.

Este tipo de fertilizante tiene una mayor facilidad de ingresar directamente a nutrir eficientemente a las plantaciones de diferentes productos y a su vez ayuda a mejorar la composición estructural del suelo como se mencionó anteriormente.

Mencionado en el punto anterior, el mejoramiento de la composición estructural del suelo nos ayuda a tener una mayor factibilidad de contención de agua la cual ayuda a un buen desarrollo de la fauna.

Al dejar todas las bacterias y microorganismos en el proceso de descomposición anaeróbica y solo dejar sus nutrientes este tipo de bioabono no va dejar una huella de mal olor al momento de su uso.

La facilidad de aplicación es mucho más efectiva y de mayor accesibilidad, ya que al momento de la descarga del biodigestor el bioabono posee una composición semilíquida y su aplicación es más sencilla.

Este producto no brinda las posibilidades de que exista proliferación de insectos u otras plagas que dañen la flora de los alrededores, como si es el caso de los fertilizantes químicos.

Una de las ventajas principales de la producción de nuestro propio bioabono es el costo bajo de producción y es un beneficio grande para la producción ya que existe un ahorro sustancial al generar biol a partir del proceso de producción de biogás, lo que antes se desechaba la materia fecal de los animales de la finca esta ahora es aprovechada al 100 % y de una forma en que no existe afectación al medio ambiente ni a las personas que las aplican en los cultivo.

Capítulo IV

Diseño y descripción del biodigestor

4.1 Diseño de biodigestor

En el diseño del biodigestor se tomará en cuenta varios parámetros para realizar su dimensionamiento como se va a detallar a continuación:

Tabla 8 Producción de biogás por animal

| Animales | % por peso vivo | | % del material de digestión | | P – Producción de biogás (m3 de gas / 1 kg So) |
|-----------------|------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------|---|
| | PE – Estiércol | PO – Orina | % EST Solidos | % SO Sol. Orgánicos | |
| Vacunos | 5 | 4 | 15 – 16 | 13 | 0,250 |
| Cerdos | 2 | 3 | 16 | 12 | 0,350 |
| Caprinos | 3 | 1,5 | 30 | 20 | 0,200 |
| Caballos | 5 | 4 | 25 | 15 | 0,250 |
| Avícolas | 4,5 | 4,5 | 25 | 17 | 0,400 |
| Humanos | 1 | 2 | 20 | 15 | 0,300 |

Fuente: Unidad de planeación minero energética, (2003, pág. 33)

4.1.1 Cálculo del peso vivo promedio de cada animal (PVP)

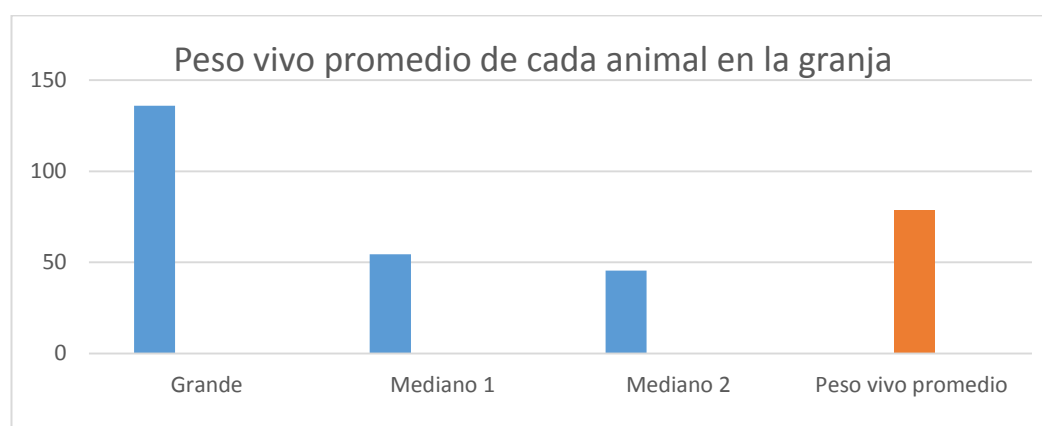
Con el promedio del peso vivo se realiza un cálculo del peso de los animales, para así obtener el peso vivo de cada animal, el cual ayudara a calcular a la cantidad de estiércol que se puede producir diariamente y el que va a ser acumulado en el

tanque de producción de gas. Para sacar el peso de cada animal se procede a realizar su respectivo pesaje en una balanza para así obtener una medida real.

Tabla 9 Peso vivo promedio de cada animal en la granja

| Descripción | Peso kg |
|-------------|---------|
| Grande | 136 |
| Mediano 1 | 54,5 |
| Mediano 2 | 45,45 |
| Total | 235,95 |
| PVP | 78,65 |

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez



Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.1.2 Cálculo de cantidad de estiércol diario

Para el cálculo de la cantidad de estiércol diario se necesita utilizar el peso vivo promedio de cada animal y el número de animales del cual se obtendrá la materia prima, en algunos casos se puede considerar el aumento de animales. Considerando también el porcentaje de peso vivo de estiércol y en este caso se utilizó 2 con su previa verificación.

$$E = NA \times PVP \times \frac{PE}{100}$$

$$E = 3 \times 78.65 \times \frac{2}{100}$$

$$E = 4.7196 \text{ Kg}$$

Donde:

E: Cantidad de estiércol fresco diario en kg.

NA: Número de animales considerados en la producción de estiércol fresco.

PVP: Peso vivo promedio por cada animal.

PE: Producción de estiércol fresco diario por animal en porcentaje de peso vivo.

4.1.3 Cálculo de materia prima para la carga (MC)

El resultado del cálculo de desechos orgánicos para la carga nos ayuda a predeterminar la cantidad de estiércol que puede ingresar diariamente a la cámara de producción de gas, difiriendo de la cantidad de materia prima que se utiliza para el

llenado previo de la cámara y que este fue recolectando con anterioridad para que exista un sellado hermético y no se produzca pérdida de gas.

$$MC = E + O$$

Donde:

E: Cantidad de estiércol fresco diario en kg.

O: Cantidad de Orina diaria en kg.

Se realizará la consideración de que la producción de orina es nula puesto que al estar ubicadas las chancheras al aire libre y la recolección se realiza una vez al día, esta se disemina al ambiente con la ayuda del sol y la temperatura alta de la zona, pero sería ideal poder recolectar la orina para una mayor fermentación.

Por lo tanto:

$$MC = E$$

$$MC = 4.7196 \text{ kg.}$$

4.1.4 Cálculo del porcentaje de sólidos totales

$$\% ST = \frac{E \times \%EST}{MPC}$$

$$\% ST = \frac{4.7196\text{Kg} \times 16\%}{4.7196\text{Kg}}$$

$$\% ST = 16\%$$

%ST: Porcentaje de sólidos totales en MC.

MC: Materia prima para carga diaria representada en kg.

%EST: Porcentaje de sólidos E.

E: Cantidad de estiércol fresco diario en kg.

4.1.5 Cálculo de Sólidos Totales

$$ST = \frac{\%ST \times MC}{100}$$

$$ST = \frac{16 \times 4.7196 \text{ kg}}{100}$$

$$ST = 0.755136 \text{ kg}$$

ST: Cantidad de sólidos en MC.

%ST: Porcentaje de sólidos en MC.

MC: Materia prima para carga diaria representada en kg.

4.1.6 Cálculo de masa de agua para la mezcla de carga del biodigestor

Se calcula la masa de agua para la mezcla solo cuando %ST es mayor al 10%, ya que los sólidos totales tienen un porcentaje del 16% y con la materia prima para carga diaria calculado anteriormente, se puede obtener la cantidad de agua requerida para realizar la mezcla con los desechos orgánicos, la cual ayuda a la proliferación de bacterias en el interior del tanque y la producción de gas con mayor eficiencia; por lo que a continuación se procederá al cálculo de la masa requerida de agua.

$$MH_2O = \frac{MC \times ST}{10} - MC$$

$$MH_2O = \frac{4.7196Kg \times 16\%}{10} - MC$$

$$MH_2O = 7.55136 - 4.7196$$

$$MH_2O = 2.83176$$

Donde:

MH_2O : Masa de agua para la mezcla de que ingresa al biodigestor.

%ST: Porcentaje de sólidos totales en MC.

MC: Materia prima para carga diaria representada en kg.

4.1.7 Cálculo de la carga de ingreso al biodigestor

Al encontrar la masa de agua requerida para la mezcla y la cantidad de materia prima producida se puede conocer la cantidad de carga que puede ingresar diariamente al tanque de producción de gas del biodigestor, por lo que la relación de agua y estiércol es de 1:2 y a continuación se calcula el ingreso total de carga.

$$C = MPC + MH_2O$$

$$C = 4.7196 \text{ kg} + 2.83176 \text{ kg}$$

$$C = 7.55136 \text{ kg}$$

C: Carga diaria que alimentara al biodigestor en kg al día. Se asume que 1kg pesa un litro de agua.

MC: Materia prima para carga diaria representada en kg.

MH_2O : Masa de agua para la mezcla de que ingresa al biodigestor.

4.1.8 Tiempo de retención

El tiempo de retención es primordial para la producción del biogás, ya que se necesita la proliferación de bacterias y que se realice el proceso anaeróbico, por lo que la temperatura es un elemento esencial y en el sector de implementación del biodigestor la temperatura está en un rango de 20 °c a 28 °c por lo que el tiempo de retención puede variar de entre 24 a 30 días para la producción continua de gas.

Tabla 10 Tiempo de retención basado en la temperatura

| Tiempo de retención según temperatura | | |
|---------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Región característica | Temperatura | Tiempo de retención (días) |
| Trópico | 30 | 20 |
| Valle | 20 | 30 |
| Altiplano | 10 | 60 |

Nota: Tiempo estimado según la región de implementación.

Fuente: Herrero, (pág. 27, 2008)

4.1.9 Cálculo del volumen del biodigestor

El volumen del biodigestor se calcula ya con el ingreso total de carga y el tiempo de retención mencionado en la anterior tabla T9.

$$V_d = C \times TR \times 1.2$$

$$V_d = 7.55136 \text{Kg} \frac{1 \text{ lt}}{1 \text{ kg}}$$

$$Vd = 7.55136L \times 30 \times 1.2$$

$$Vd = 271.849 \text{ lt.}$$

Donde:

Vd: Volumen del biodigestor en litros.

C: Carga diaria que alimentara al biodigestor en kg al día. Se asume que 1Kg pesa un litro de agua.

Tr: Tiempo de retención en días.

Volumen adicional para el almacenamiento de biogás es de 1.2

Después de realizar el cálculo respectivo del volumen del biodigestor se obtuvo un volumen de 271.849 litros, pero al existir variables como el aumento de animales, el incremento y la recolección previa de la materia prima, se logra obtener el llenado de un tanque de 1100 litros seleccionado.

4.1.10 Cálculo de la posible producción de biogás

$$PG = MC \times SO \times P$$

$$PG = 4.7196 \text{ Kg} \times 0.12 \times 0.35$$

$$PG = 0.198223\text{m}^3$$

Donde:

PG: Producción de gas al día.

MC: Materia prima para carga diaria representada en Kg.

SO: Porcentaje de materia orgánica en el estiércol de la carga.

P: Producción aproximada de m³ de gas al día

El cálculo de producción de gas diaria es de 0.2 m³ por lo que se selecciona un tanque de reserva de biogás de las mismas dimensiones del tanque de producción que es de 1100 litros y en promedio se llenara en 5 días.

4.1.11 Cálculo de altura de la mezcla en la cámara

El volumen de operación de la cámara del biodigestor debe ser escogido para que el líquido ocupe el 80% del volumen total del tanque y el 20% restante se destine a albergar el biogás que por efectos de presión pasara al acumulador de gas.

$$VO = (VT \times 0.8)m^3$$

$$VO = (1.1 \times 0.8)m^3$$

$$VO = 0.88m^3$$

Donde:

VO: Volumen de operación

VT: Volumen total = $1.1m^3$

Entonces:

$$H = \frac{VO}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

$$H = \frac{0.88 m^3}{\frac{\pi \cdot (1.10 m)^2}{4}}$$

$$H = 0.92\text{m}$$

Donde:

H: Altura de la mezcla en la cámara

D: Diámetro de la cámara

VO: Volumen de operación

Formulación: (Unidad de planeación minero energética, 2003)

4.1.12 Poder Calorífico

Es la energía emitida al completar la combustión de una unidad de combustible, cuando se llevan los productos al mismo estado de temperatura y presión que los reactivos.

Poder calorífico superior e inferior.

En el proceso de combustión se produce agua y esta se considera en estado líquido para el poder calorífico superior (Qs) y por el otro lado en el poder calorífico inferior (Qi) el agua es considerada en estado gaseoso. (Instituto de química Universidad de la república de Uruguay, 2015, pág. 4)

De acuerdo con la tabla número 3 se puede determinar el promedio del porcentaje del metano y del gas carbónico (CO₂) para realizar los cálculos.

$$\text{CH}_4 = 70\%$$

$$\text{CO}_2 = 30\%$$

A continuación se calculará el volumen que ocupa 1 mol de la mezcla, utilizando una presión constante que demuestre condiciones normales.

Utilizando la ecuación de los gases ideales se tiene que:

$$PV = nRT$$

Entonces:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Donde:

P: Presión constante a nivel del mar = 1 atm

T: Temperatura promedio en la zona de Gualea = $25^{\circ}\text{C} + 273 = 298^{\circ}\text{K}$

R: Constante de los gases = 0.082 atm.Lt

n: referido a 1 mol

$$V = \frac{1 \text{ mol} \times 0.082 \frac{\text{atm}}{\text{lt}} \times 298^{\circ}\text{K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 24.436 \frac{\text{lt}}{\text{mol}}$$

$$V = 24.436 \frac{\text{lt}}{\text{mol}} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{lt}}$$

$$V = 0.024436 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

(Narvaez Guevara, Saltos Paz, & Muñoz , 2007, págs. 79-88)

A partir de la tabla A27 de Cengel obtenemos los datos a 1 atm de presión y temperatura normal de ebullición para combustibles gaseosos.

Tabla 11 Poder calorífico del metano y gas carbónico.

| Gas | Poder calorífico superior $\frac{KJ}{Kg}$ | Poder calorífico inferior $\frac{KJ}{Kg}$ |
|----------------------------------|---|---|
| Metano (CH ₄) | 55530 $\frac{KJ}{Kg}$ | 50050 $\frac{KJ}{Kg}$ |
| Gas Carbónico (CO ₂) | 31607 $\frac{KJ}{Kg}$ | 22049 $\frac{KJ}{Kg}$ |

Nota: Datos utilizado para los diferentes cálculos de poder calorífico.

Fuente: Cengel, (pág. 992, 2006)

Datos de metano y gas carbónico

Índice superior CH₄

$$CH_4 = 55530 \frac{kJ}{kg} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4.1868 \text{ kJ}} \times \frac{0.016 \text{ mol}}{kg}$$

$$CH_4 = 212.21 \frac{kcal}{mol} \times 70\%$$

$$CH_4 = 148.547 \frac{kcal}{mol}$$

Índice inferior CH₄

$$CH_4 = 50050 \frac{kJ}{kg} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4.1868 \text{ kJ}} \times \frac{0.016 \text{ mol}}{1 \text{ kg}}$$

$$CH_4 = 191.268 \frac{kcal}{mol} \times 70\%$$

$$CH_4 = 133.888 \frac{kcal}{mol}$$

Índice superior CO₂

$$\text{CO}_2 = 31607 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4.1868 \text{ kJ}} \times \frac{0.0128 \text{ mol}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{CO}_2 = 96.63 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \times 30\%$$

$$\text{CO}_2 = 28.989 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

Índice inferior CO₂

$$\text{CO}_2 = 22049.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4.1868} \times \frac{0.0128 \text{ mol}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{CO}_2 = 67.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 30\%$$

$$\text{CO}_2 = 20.223 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Índice Superior total

$$Q_{sT} = Q_s \text{ CH}_4 + Q_s \text{ CO}_2$$

$$Q_{sT} = 148.547 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} + 28.989 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

$$Q_{sT} = 177.536 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

$$Q_{sT} = \frac{177.536 \text{ kcal/mol}}{0.024436 \text{ m}^3/\text{mol}}$$

$$Q_{sT} = 7265.35 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$Q_{sT} = 7265.35 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \times \frac{4.1868 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}$$

$$Q_{sT} = 30418.6 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

Índice inferior total

$$Q_{iT} = Q_i \text{CH}_4 + Q_i \text{CO}_2$$

$$Q_{iT} = 133.888 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} + 20.223 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

$$Q_{iT} = 154.111 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

$$Q_{iT} = \frac{154.111 \text{ kcal/mol}}{0.024436 \text{ m}^3/\text{mol}}$$

$$Q_{iT} = 6306.72 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$Q_{iT} = 6306.72 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \times \frac{4.1868 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}$$

$$Q_{iT} = 26405 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

4.2 Selección de tubería y válvula

4.2.1 Dimensionamiento de tubería

Se debe tomar en cuenta el dimensionamiento y el material de la tubería que se va utilizar para el transporte del biogás, ya que en esto influye el flujo, la velocidad del gas natural y de esta forma podemos seleccionar el diámetro adecuado de tubería.

El material de la tubería para ser transportado del biodigestor al acumulado será de pvc, por lo que no es una gran distancia, a partir del acumulador hacia los

quemadores a utilizar se lo transportara mediante tubería de polietileno, puesto que este material es el más adecuado para la transportación de gas.

$$Q = V * \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{Q}{V * \pi} * 4}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.000002 \frac{m^3}{s}}{20 \frac{m}{s} * \pi} * 4}$$

$$D = 0.38 \text{ mm}$$

Donde:

Q: Flujo volumétrico.

V: Velocidad recomendada 20 m/s (Moro Aristu, 2011)

D: Diámetro interior de tubería.

Fuente: (Maldonado , Obando , Pineda , Quitiaquez, & Toapanta , 2013)

El diámetro mínimo requerido para el paso de biogás es de 0.38mm, por lo que no permite seleccionar una de las tuberías del mercado la más próxima al diámetro requerido es de ½” con un diámetro interior de 14.3 mm lo que nos permitirá la transportación del tanque con facilidad.

4.2.2 Válvulas de paso

Son elementos que nos van ayudar a regular el paso de biogás a la cámara de acumulación y de la misma manera el paso del acumulador así las quemadores que se vayan a utilizar, las válvulas a utilizar son las de bolas esta sirven muy bien para estos tipos de funciones, también nos van ayudar a que no existan fugas de gas al momento de realizar los respectivos mantenimientos.

4.3 Partes del biodigestor

9. Diagrama general

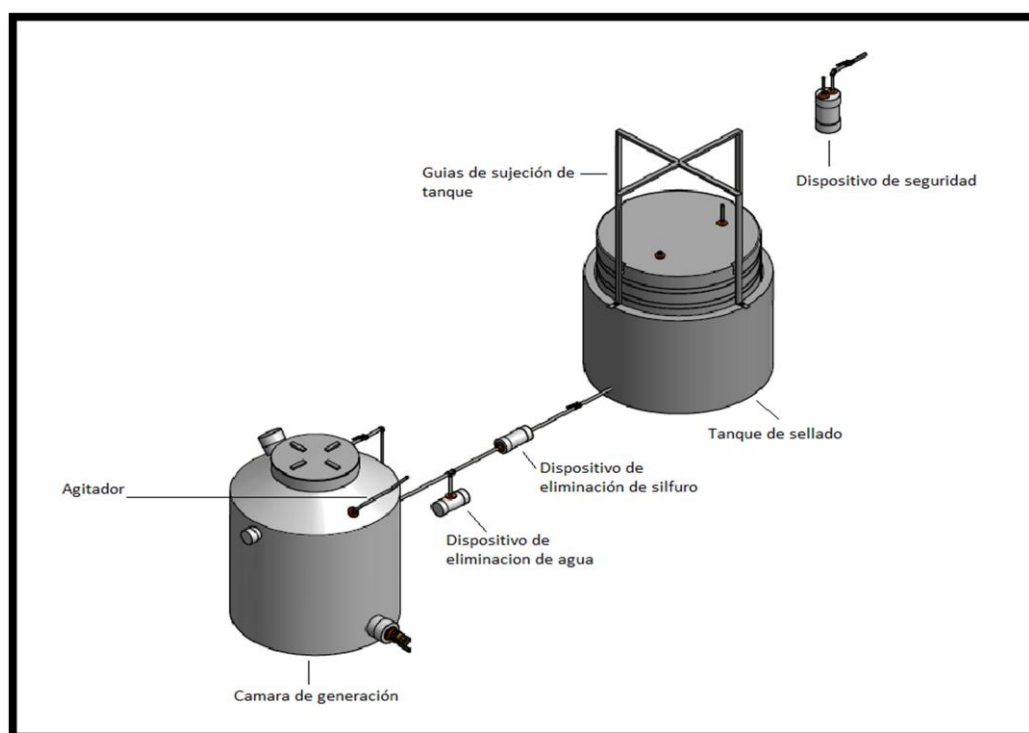


Figura 9. Biodigestor de campana flotante.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.1 Tanque de producción de gas

La cámara de producción de gas es el elemento principal del biodigestor, ya que tiene como objetivo almacenar todo los elementos orgánicos para su respectiva descomposición y fermentación para que de esta forma llegue a producir biogás y el fertilizante que va hacer utilizado posteriormente.

El elemento denominado cámara debe tener un sellado hermético en la parte superior, como también en las respectivas zonas de acceso de los productos orgánicos o desechos y de descarga del biol para que no exista ninguna pérdida de gas.

El tanque es de un material denominado polietileno que posee una alta densidad, gran resistencia química, además lo más importante es la resistencia a altas presiones y temperaturas que están en un rango de 55°C a 60°C lo que es esencial para alcanzar el objetivo.

La cámara posee varios conductos, cada uno de ellos tiene su respectivo trabajo, el primer orificio tiene como función del ingreso de la materia orgánica hasta el llenado al límite del segundo orificio, el cual se encuentra a un costado del tanque por el cual no permitirá mantener el nivel adecuado de materia prima y también facilita la obtención del biol o fertilizante de una forma más rápida y eficaz, el tercer orificio se encuentra en la parte lateral superior el que permite la salida optima del biogás producida al interior del tanque y que va adaptada a la tubería de conducción del producto, también posee un orificio para una camisa en la cual va aptada para el ingreso de un agitador, por ultimo un en la parte inferior del tanque se podrá ubicar una salida para la limpieza del tanque y de sus elementos a su interior.

La vida útil del tanque que se está utilizando es de 45 años por las propiedades de tipo de polietileno utilizado y el tipo de fabricación.

10. Tanque de producción de biogás



Figura 10.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.2 Agitador

El agitador es un elemento manual que tiene como función mover la sustancia o la materia orgánica al interior del tanque, para que exista mayor afluencia de los gases producidos al inferior del tanque y que exista la mezcla de bacterias, también permite que el biol ubicado en la parte inferior del tanque, con su movimiento rotatorio inclinado con ayuda de sus paletas permita la salida respectiva por el desfogue de tanque y así facilite la entrada de nueva materia prima.

El elemento está constituido por un tubo redondo con cuatro perforaciones las cuales nos ayudaran a la sujeción de las paletas que darán movimiento a la sustancia

ubicada al interior del tanque, en la parte superior sobrepasando la camisa adaptada al tanque existirá un doble del tubo, que no permitirá maniobrar con facilidad el agitador.

Las paletas son cuatro placas de tol perforado chaflanados sus esquinas para que no exista ningún daño a las tuberías internas ni al tanque, en la parte lateral superior se soldara pernos o espárragos los cuales tendrá la sujeción con sus respectivas arandelas y tuercas, el armado del agitador debe realizarse al interior del tanque. La utilización de las paletas perforadas tiene un fin el cual es evitar un gran esfuerzo al momento de utilizar el agitador el cual va hacer necesario cada vez que tengamos ingreso de carga al biodigestor.

El proceso de anticorrosión será un recubrimiento de pintura electroestática o pintura al horno ya que las paletas y el eje del agitador son de acero, este proceso nos permitirá que no exista una corrosión masiva en los elementos. El principio y el final de tubo no tienen importancia por lo que se encuentren abiertos, ya que no puede existir salida de gas por esa vía porque tiene un sellado hermético con el líquido al interior y por la razón de que el eje del agitado estará hasta la base del taque.

12. Agitador



Figura 11.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

11. Paletas de agitación

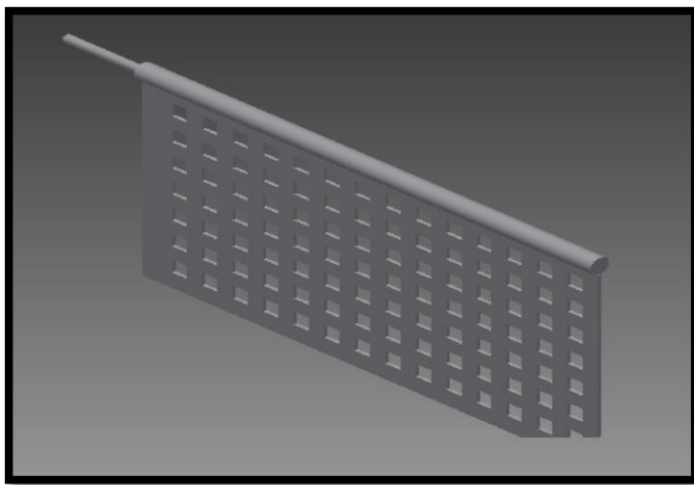


Figura 12.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

La principal característica que deben poseer las paletas de agitación es la inclinación ubicada en el borde de la misma, para que no cause daño al tanque ni al tubo de ingreso del producto orgánico.

4.3.3 Guía del agitador

Uno de los objetivos de este proyecto es disminuir costos de construcción uno de los ejemplos más notables es la guía del agitador, por lo que es sencilla y fácil de adquirir, para este elemento y es uno de los más indispensable, porque nos sirve para que el agitador no tenga movimientos desarticulados en el interior del tanque.

El material de la guía es de pvc utilizado en unión de las tuberías esta guía va a hacer una unión en “T” ya que nos facilita la colocación al interior del tanque y una facilidad de centrado con el agitador por lo que se puede rotar según su requerimiento.

La sujeción de este elemento debe ser por medio de abrazaderas a sus extremos ya como se mencionó anteriormente, que es para que exista movilidad para su centrado estas abrazaderas serán unidas al tanque mediante pernos, tuercas y empaques estos últimos nos ayudarán que no existan fugas de la materia prima.

13. Guía del agitador

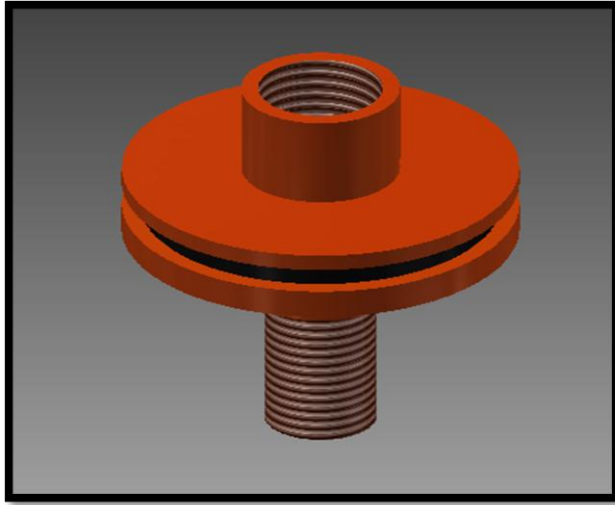


Figura 13.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.4 Reservorio de gas

El reservorio de gas es el elemento donde se guardara o almacenara la producción de gas del biodigestor, este tendrá un incremento de volumen al pasar los días del proceso anaeróbico de la sustancia.

Este elemento es un tanque de polipropileno de 1100 litros, el cual es cortado al inicio de su inclinación superior para que así entre de una forma correcta en su respectivo sellado y no existan fugas de gas

Este tanque en su parte inferior y al momento de su colocación será la parte superior tendrá dos perforaciones, la primera de ella será para la colocación de un manómetro el cual nos indicara la presión en la que se encuentra el biogás en el interior del tanque y la segunda perforación será para una pequeña válvula de salida del gas hacia un filtro de depuración.

El ingreso del gas al tanque de almacenamiento será mediante una tubería por la parte inferior del mismo, el cual al momento de ingresar este empezara a elevar el tanque hasta un máximo previamente seleccionado.

14. Tanque de almacenamiento

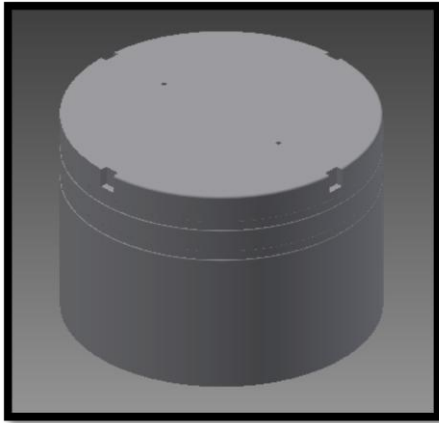


Figura 14.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

Tomar en cuenta en la parte superior del tanque de almacenamiento puede colocarse un peso considerable en el caso si fuese necesario aumentar la presión existente en el sistema para su respectivo uso.

4.3.5 Tanque de sellado del almacenamiento de gas

El tanque de sellado es un dispositivo de seguridad, el cual va acoplado al reservorio de biogás, estos dos elementos deben poseer un juego para así facilitar la elevación del tanque.

La aplicación del tanque es mantener un sellado hermético, esto se logra mediante el llenado al límite de agua de este tanque lo que nos permite que no existan salidas de gas al momento del llenado de reservorio, pero cuando este se

encuentre lleno en su totalidad la producción de gas no va a parar por lo que necesita un desfogue del mismo y esto se produce por la parte inferior del reservorio; que son las aberturas que deja el juego entre el tanque de reservorio y el tanque de llenado las que permiten la salida del exceso de gas.

La fabricación de este tanque se lo realiza en cemento también se encuentra enterrado en la tierra por factor de seguridad y fácil construcción.

15. Tanque de sellamiento

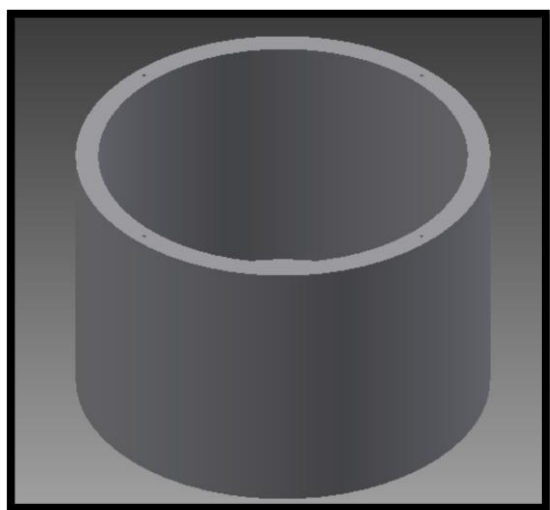


Figura 15.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.6 Guías de sujeción de tanque

Estas guías son indispensables, ya que el tanque de almacenamiento tiende a subir por el llenado de biogás, este dispositivo mantendrá la subida del tanque perpendicularmente y no permitirá que el tanque sobrepase su límite del sellado de

agua, por lo que está hecho a la medida exacta con su respectiva sujeción al tanque de sellamiento de agua.

Esta estructura va a contar con partes móviles para su fácil transportación y fabricación, va a contar con una estructura en forma de cruz con sus respectivas perforaciones en sus extremos para la sujeción de los brazos guías

16. Guías del tanque de almacenamiento

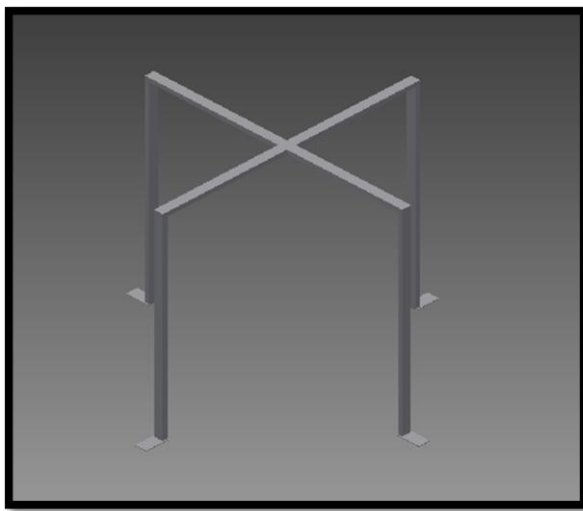


Figura 16.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.7 Dispositivo de eliminación de agua

Este es uno de los tantos dispositivos de seguridad que nos permite mantener el biogás libre de agua, porque el momento de producción este gas contiene una gran cantidad de vapor de agua el cual viaja a través de la tubería, al seguir su viaje se condensa y puede ocasionar daños en la tubería u otros dispositivos utilizados.

17. Dispositivo de eliminación de agua



Figura 17.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.8 Dispositivo de seguridad de llama o flama

Este tipo de seguridad nos permite mantener el flujo de llama o flama alejada del tanque acumulador de biogás, también con una salida adecuada hacia al quemador, esto permite que si existe alguna falla del dispositivo en el que se utiliza el producto final la trampa de llama funcione como un tipo de fusible para que la llama no se propague y cause accidentes.

18. Dispositivo de seguridad de llama o flama



Figura 18.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.3.9 Dispositivo de eliminación de sulfuro de hidrogeno

A parte de los otros dispositivos de seguridad este es uno de los más indispensables para la adaptación del biodigestor, ya que este nos permite eliminar una sustancia química la que produciría gran daño a nuestro biodigestor, porque la combinación de sulfuro de hidrogeno añadiendo la condensación del vapor de agua pueden llegar a formar ácidos y dañar la tubería de transportación del biogás, como también la pérdida del mismo por eso se es necesario la utilización de este dispositivo de filtrado.

19. Dispositivo de eliminación de sulfuro

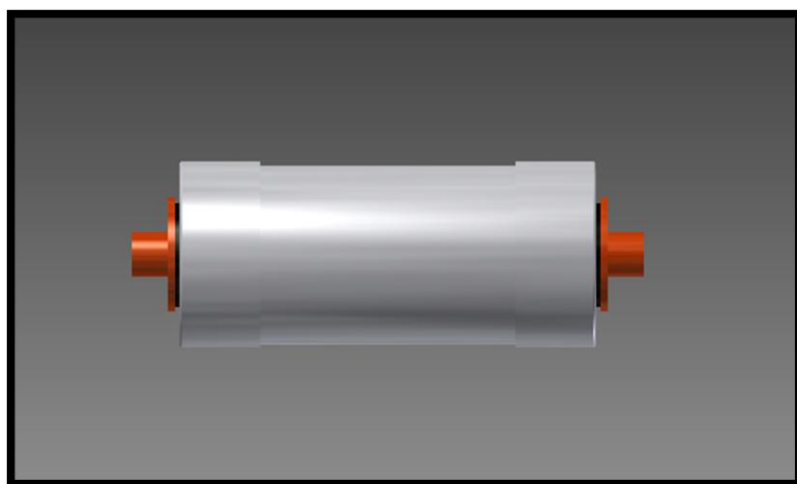


Figura 19.

Fuente: Gabriel Báez y Daniel Benítez

4.4 Análisis de costos y rentabilidad

El análisis de costos y rentabilidad nos ayuda a determinar una factibilidad de elaboración del proyecto también nos refleja numéricamente y económicamente que tan bueno es invertir en un proyecto de energía renovable como es el biodigestor.

Con base de la economía que atraviesa nuestro país, especialmente en la zona rural del Ecuador, se tiene una gran visión de lo que puede llegar a ahorrar con estos tipos de energías, ya que se tiene los productos para poder desarrollar con una sola inversión, este tipo de energía va generar ganancias y rentabilidad en un tiempo corto con una utilidad por lo menos de 45 años.

Los costos de construcción deben y serán los mínimos ya que como objetivo es el realizar esto con objetos de uso común, por lo que también cabe recalcar es la mano de obra, este punto es muy esencial porque el costo de esto a lo largo del uso de biodigestor va hacer recuperado en otras palabras, la inversión de este tipo de energía renovable va hacer recuperada en lo que se denomina costo beneficio para el usuario.

Con una inversión de construcción baja va a tener una ganancia muy alta y un ahorro de económico, porque lo que no tendrá que adquirir el cilindro de gas o GLP.

En los próximos años por la creación de los grandes hidroeléctricas y el planteamiento de introducir cocinas a inducción el costo del GLP tendrá un incremento muy elevado por lo que se quitara el subsidio al mismo por consecuente realizaremos con estos valores el análisis del beneficio que tendrá el biodigestor.

El costo real de cilindro de gas es de 25.87 dólares, por lo que en una estimación se consume un cilindro de gas a los dos meses que equivaldría a:

$$\text{Costo bimensual de GLP} = \$ 25.87 * 1 = \$ 25.87 \text{ dólares mensuales.}$$

El valor equivalente de un metro cubico de biogás en relación al gas licuado de petróleo (GLP) es de 40 kg de GLP. (Programa Paulista de biogás, 2012)

Por lo tanto la producción de biogás diario relacionado con el peso de GLP seria teniendo en cuenta que se produce $PG = 0.198223\text{m}^3$ diariamente:

$$0.198223 * 0.40 \text{ kg} = 0.0793 \text{ kg de GLP diarios}$$

Mientras tanto el valor real de cilindro de gas para el 2016 tendrá un costo sin subsidio de gobierno del Ecuador estará oscilando entre los 25.87 dólares como se mencionó anteriormente y para ver la relación en costo y beneficio se tomara como referencia los 31 días que se utiliza el biogás, ya que este sistema tiene una producción constante al igual que su uso, por consiguiente tendríamos una generación de gas interminable. (El Tiempo, 2013)

$$31 \text{ días} * 0.0793 \text{ kg de GLP} = 2.4583 \text{ kg de GLP.}$$

$$2.4583 \text{ kg de GLP} * \frac{25.87 \text{ dólares}}{15 \text{ kg}} = 4.2398 \text{ dólares.}$$

Fuente: (Maldonado , Obando , Pineda , Quitiaquez, & Toapanta , 2013)

En relación al consumo que se prevé que va hacer y al costo de que se pudo observar el beneficio que tiene este producto es rentable y también debemos tener en cuenta la producción del biol utilizado en las diferentes plantaciones de los productos distribuidos alrededor de la finca; estos tipos de productos en el sector tienen un

precio elevado y gracias al tipo de instalación del biodigestor el biol o bio abono es de obtención sencilla, con una gran utilidad.

4.4.1 Análisis de beneficios de construcción

Para la elaboración del biodigestor existen varios elementos de construcción mencionados en ítems anteriores y de fácil adquisición tanto que los costos de cada material son bajos con un beneficio grande a largo plazo.

Beneficios de construcción:

- Producción de biogás constante. (0.2 m³ diarios)
- Producción de biol orgánico. (7 litros diarios)
- Una sola inversión de materiales. (\$ 725)
- Eliminación de gases de invernadero. (No existe)
- Diferentes tipos de usos. (Cocción de alimentos, criadoras de pollos)
- Mantenimiento semestral o anual (dependiendo de su cuidado).

Uno de los puntos esenciales de este sistema es el cuidado del medio ambiente, ya que no se produce gases de invernadero y existe una reutilización de los desechos de los animales como abono.

4.4.2 Costos de materiales

| Producto | Cantidad | Valor |
|---|----------|----------|
| Tanque de producción de biogás 1100 lts | 1 | \$ 170 |
| Tanque de almacenamiento 1100 lts | 1 | \$ 180 |
| Tubo de 160 mm x 3m | 1 | \$ 16,23 |

| | | |
|--------------------------------------|--------|------------------|
| Tubo de 110 mm x 3 m | 1 | \$ 14,25 |
| Tubo de 1/2 " x 3 m | 1 | \$ 20,87 |
| Manómetro | 1 | \$ 5,39 |
| Camisas de tubería 160 mm | 2 | \$ 24 |
| Camisas de tubería de 110 mm | 1 | \$ 9 |
| Válvulas de bola | 2 | \$ 4,9 |
| Tubo rectangular 1 1/2" x 3/4 x 1,2 | 4,12 m | \$ 5,2 |
| Pega negra | 2 | \$ 7,71 |
| Manguera de polietileno lisa | 100 m | \$ 36 |
| válvulas de salida de gas | 1 | \$ 0,18 |
| Codos de 45° | 1 | \$ 8,9 |
| Tubo de pvc de 1" | 1 | \$ 20,87 |
| Bocín de agitador | 1 | \$ 6 |
| Tubo de 3/4 agitador | 3 m | \$ 2,5 |
| Platina 2 x 1/8 | 0,50m | \$ 2 |
| Tol perforado de 0,30 x 10 x 1 mm | 1,2 | \$ 5 |
| Mallas | 2 | \$ 5 |
| Cemento | 2 | \$ 24 |
| Sellamiento de fibra de vidrio | 4 | \$ 120 |
| Codos T | 2 | \$ 1,73 |
| Tapa roscable | 1 | \$ 21,79 |
| Expansor de diámetro de 160 a 200 mm | 1 | \$ 13,8 |
| | | \$ 725,32 |

4.4.3 Cálculos de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)

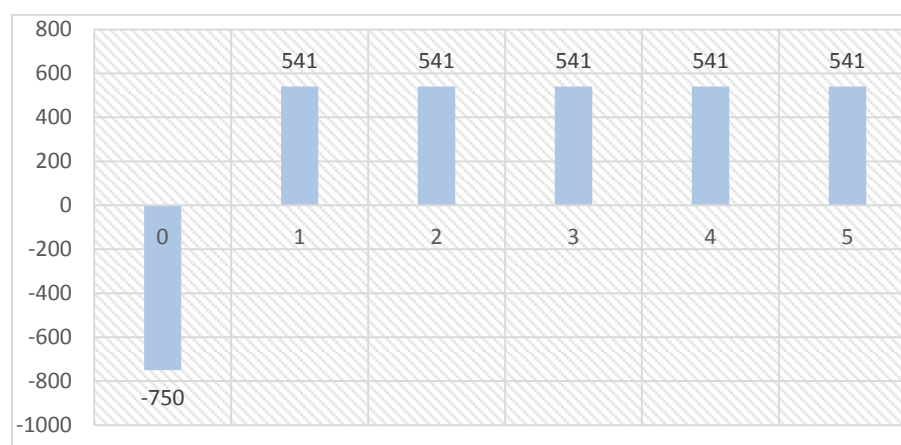
El valor de producción del biodigestor es de \$750 dólares y el valor de ganancia al cabo de un año por la producción de fertilizante a un valor de \$511 anuales y ahorro en la compra de GLP a un valor de \$5 cada 2 meses nos da una ganancia de 541 anuales, mediante estos valores se procede a calcular el VAN y TIR de proyecto como también el año de recuperación de la inversión.

Tabla 12 Cálculos de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)

| AÑOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | VAN | TIR | R B/C |
|--------------------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|-----|----------|
| VALOR NETO | -750 | 541 | 541 | 541 | 541 | 541 | | | |
| VP | (\$750,00) | \$541,00 | \$541,00 | \$541,00 | \$541,00 | \$541,00 | \$1.955,00 | 66% | \$3,61 |
| FLUJO DE RECUPERACIÓN | (\$750,00) | (\$209,00) | \$332,00 | \$873,00 | \$1.414,00 | \$1.955,00 | | | |

| | |
|-----------------|-----|
| Interés | 12% |
| PAY BACK (AÑOS) | 2 |

Valores de egresos y ganancias.



Conclusiones

- El biodigestor de tipo campana flotante instalado en la finca el recuerdo recibe 4,80 kg de estiércol porcino al día y 5 litros de agua para generar 0,2 m³ de biogás que se irán acumulado en su reservorio de 1 m³ de capacidad y 10 litros de bioabono, lo que lo hacen una fuente energética eficiente ya que aprovecha el 100% de los desechos que ingresan a la cámara de digestión.
- La granja porcina de la finca “El Recuerdo” al momento cuenta con tres animales adultos que proporcionan los desechos necesarios para que el biodigestor genere gas suficiente para que una familia de cuatro personas cocine sus alimentos tres veces al día con un promedio de consumo de 0,1 m³ por comida.
- Los 10 litros de bio-abono obtenidos luego del proceso de digestión anaeróbica sirven para fertilizar un promedio de 40 árboles medianos o 10 árboles grandes, aportando principalmente nitrógeno, fosforo y calcio nutrientes fundamentales para la correcta formación de los frutos.
- El poder calorífico del gas licuado de petróleo es de 22000 Kcal/m³ medido en condiciones estándares de temperatura y presión, mientras que para el biogás el índice es de 7265 Kcal/m³ debido a esto se necesita mayor volumen de biogás para producir generar el mismo calor que 1m³ de GLP. Sin embargo al ser el costo de producción del biogás igual a cero, sigue siendo una alternativa energética muy sustentable.
- El biodigestor fue construido con materiales que se encuentran el mercado con facilidad, fueron seleccionados para que su vida útil sea de 35 años. La inversión total es de \$725,32 y su recuperación se lograra en dos años.

Recomendaciones

- La finca “El Recuerdo” puede ser un referente de manejo responsable de desechos y generación de energía alternativa, es recomendable vincular a la comunidad con este tipo de proyectos realizando demostraciones y visitas personalizadas que permitan a los habitantes de la zona familiarizarse con el equipo y con la idea de que ellos también pueden obtener estos beneficios implementando biodigestores de este tipo en sus propiedades. De esta manera se lograría alcanzar el objetivo más importante de este proyecto que es crear conciencia verde y ayudar a la recuperación del medio ambiente.
- El PH es uno de los factores más importantes en la producción de biogás. Se recomienda tomar muestras periódicas de la mezcla que se encuentra dentro de la cámara de digestión para medir y analizar el PH, este se debería mantener entre 6 y 8 para que el proceso de generación no se detenga. De notarse una medición fuera del rango de control se debe proceder a alcalinizar o acidificar las siguientes cargas que ingresaran según sea el requerimiento para poder restablecer el orden del PH dentro del biodigestor de no ser así se deberá descargar en su totalidad la cámara de digestión y volver a llenarla.
- Es recomendable profundizar en investigaciones posteriores la utilización del método analítico para obtención de muestras y análisis a nivel microscópico de las colonias bacterianas que son las responsables de la digestión anaeróbica para conocer más acerca de su comportamiento y funcionamiento de manera de realizar mediciones de producción de biogás de acuerdo a cada desecho con el fin de mejorar el desempeño de los biodigestores.

Referencias

- Baez, G., & Benitez, D. (2015). Fotos Tesis. Quito, Ecuador.
- Butti, I., Huerga, I., & Venturelli, I. (2014). *Biodigestores de pequeña escala Un análisis práctico sobre su factibilidad*. Santa Fe: INTA.
- Carrillo, L. (2004). *Energía de biomasa*. San Salvador de Jujuy. doi:987-43-8679-7
- Castells, X. E., Campos, E., & Flotats, X. (2012). *Procesos Biológicos La Digestión Anaerobia y el Compostaje*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Cengel, Y. M. (2012). *Termodinámica 6ta edición*. Mexico DF: McGraw Hill.
- Cortés Cortés, M., & Iglesias León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación* (Vol. 1). (A. P. Gómez, Ed.) Ciudad del Carmen, Campeche, México: Universidad Autónoma del Carmen.
- De la Torre Caritas, N., & Ulpiano Ruiz-Rivas, H. (2008). *Digestión anaerobia en comunidades rurales*. Madrid: U.C.M.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Youba, S., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., . . . Von Stechow, C. (2011). *Fuentes de Energías Renovables y Mitigación del Cambio Climático*. Postdam : Instituto de Investigación sobre el impacto del Clima De Postdam.
- El Tiempo. (04 de 08 de 2013). *El Tiempo Ecuador*. Obtenido de El Tiempo Ecuador : <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/126692-el-subsidio-al-gas-se-eliminara-en-el-2016/>
- Energizar. (2015). *Fundación Energizar*. Recuperado el 30 de 05 de 2015, de Fundación Energizar:

http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_biodigestor_como_funciona.html

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). (2010). *Guía sobre el Biogás*.

Gülzow: DBFZ - FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit.

Fernández Salgado, J. M. (2010). *Guía Completa de la Biomasa y los*

Biocombustibles. Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones .

García Sabater , J. P., & Maheut, J. (2012). *Modelos y Métodos de Investigación de Operacion*. Grupo de investigación ROGLE .

Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalacion*. La Paz: GTZ.

Hilbert, I. (2010). *Manual para la produccion de biogás*. Costa Rica: I.N.T.A
Castelar - Instituto de ingenieria rural.

Instituto de quimica Universidad de la republica de Uruguay. (2015). *Combustibles*.
Montevideo: Universidad de la republica de uruguay.

Landín, D. G. (2007). Contenido de nutrimentos en las excretas porcinas. En I. N.
pecuaria, *Integración por zonas de la ganaderia y de la agricultura especializadas* (págs. 1-9). Mexico : CENID INIFA .

Maldonado , C., Obando , F., Pineda , O., Quitiaquez, W., & Toapanta , F. (2013).
Diseño de un sistema de henificación con ventilación forzada, utilizando biogás como combustible . quito .

Moro Aristu, J. M. (2011). *Proyecto de insatlación de biogas* . Pamplona: Naven ingenieros .

Narvaez Guevara, Y., Saltos Paz, A., & Muñoz , I. (2007). *Diseño y construccion y puesta en archa de un biodigestor tipo piloto para la obtencion de biogas y bioabono a partir de la mezcla de estiercol vacuno y suero de queso*.
Guayaquil : Universidad de Guayaquil.

Programa Paulista de biogás. (4 de Diciembre de 2012). *Fundación Ecológica Nacional* . Obtenido de Fundación Ecológica Nacional : <http://fen.org.br/wp-content/uploads/2013/05/Fontes-Alternativas-de-Energia.pdf>

Rodríguez Gómez , D., & Valldeoriola Roquet, J. (2015). *Metodología de Investigación*. Cataluyña, España: UOC. Obtenido de www.zanadoria.com/syllabi/m1019/mat_cast.../PID_00148556-1.pdf

Schallenberg Rodriguez , J., Piernavieja Izquierdo , G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón , P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., . . . Subiela Ortin , V. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Canarias: Instituto Tecnológico Canarias S.A.

Secretaria de energía. (2008). *Energía Renovables - Energía Biomasa*. Buenos Aires: Tecnologia de la información, Direccion general de cooperacion y asistencia financiera, Secretaría de energía.

Unidad de planeación minero energértica. (2003). *Guía para la implementación de sistema de producción de biogás*. Bogotá, D.C.: ICONTEC - AENE.
doi:ANC-0603-19-01

Anexos

Anexo 1 Granja porcina de la finca “El Recuerdo”



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 2 Tanques de almacenamiento nuevos



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 3 Perforación de la cámara para ingreso de la carga



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 4 Perforación de desagüe



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 5 Corte de tanque para acumulador de gas



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 6 Perforación para agitador de paletas



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 7 Corte y colocación de tubo para boca de carga



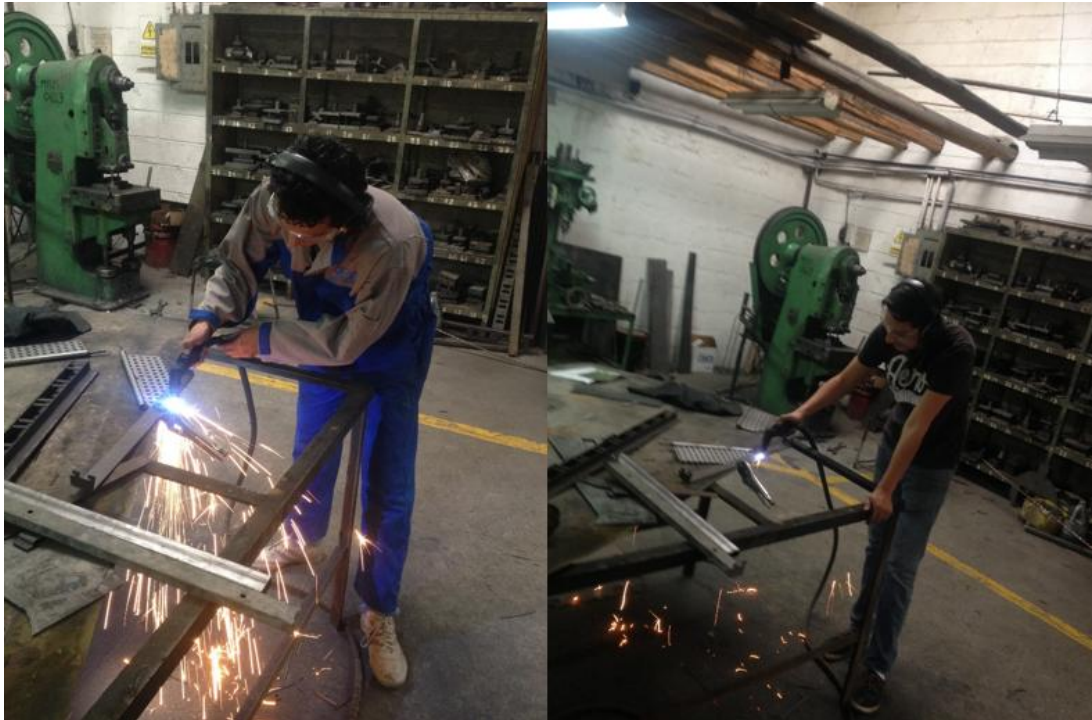
(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 8 Perforaciones en tubo para colocación de paletas en agitador



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 9 Corte de paletas para agitador



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 10 Instalación del agitador



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 11 Elaboración de jaula metálica para el acumulador de gas



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 12 Perforaciones para filtros y trampas



(Baez & Benitez, 2015)

Anexo 13 Tabla A-27E

992 I Tablas de propiedades, figuras y diagramas (unidades inglesas)

TABLA A-27E
Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes

| Combustible (fase) | Fórmula | Masa molar, lbm/lbmol | Densidad, ¹ lbm/ft ³ | Entalpía de vaporización, ² Btu/lbm | Calor específico, ³ c _p , Btu/lbm · °F | Poder calorífico superior, ³ Btu/lbm | Poder calorífico inferior, ³ Btu/lbm |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|--|--|--|---|---|
| Acetileno (g) | C ₂ H ₂ | 26.038 | — | — | 0.404 | 21,490 | 20,760 |
| Benceno (ℓ) | C ₆ H ₆ | 78.114 | 54.7 | 186 | 0.411 | 17,970 | 17,240 |
| Butano (ℓ) | C ₄ H ₁₀ | 58.123 | 36.1 | 156 | 0.578 | 21,130 | 19,510 |
| Carbono (s) | C | 12.011 | 125 | — | 0.169 | 14,100 | 14,100 |
| Decano (ℓ) | C ₁₀ H ₂₂ | 142.285 | 45.6 | 155 | 0.528 | 20,490 | 19,020 |
| Diesel ligero (ℓ) | C ₁₂ H ₂₄ | 170 | 49-52 | 116 | 0.53 | 19,800 | 18,600 |
| Diesel pesado (ℓ) | C ₁₅ H ₃₂ | 200 | 51-55 | 99 | 0.45 | 19,600 | 18,400 |
| Etano (g) | C ₂ H ₆ | 30.070 | — | 74 | 0.418 | 22,320 | 20,430 |
| Etolol (ℓ) | C ₂ H ₅ O | 46.069 | 49.3 | 395 | 0.583 | 12,760 | 11,530 |
| Gas natural (g) | C ₃ H ₈ | 44.097 | — | — | 0.48 | 21,500 | 19,400 |
| Gasolina (ℓ) | C ₁₂ H ₂₆ | 170 | 45-49 | 151 | 0.57 | 20,300 | 18,900 |
| Heptano (ℓ) | C ₇ H ₁₆ | 100.204 | 42.7 | 157 | 0.535 | 20,680 | 19,180 |
| Hexano (ℓ) | C ₆ H ₁₄ | 86.177 | 41.2 | 157 | 0.439 | 20,430 | 19,090 |
| Hexano (ℓ) | C ₆ H ₁₄ | 86.177 | 41.2 | 157 | 0.542 | 20,770 | 19,240 |
| Hidrógeno (g) | H ₂ | 2.016 | — | — | 3.44 | 60,970 | 51,600 |
| Isopentano (ℓ) | C ₅ H ₁₂ | 72.150 | 39.1 | — | 0.554 | 20,890 | 19,310 |
| Metano (g) | CH ₄ | 16.043 | — | 219 | 0.525 | 23,880 | 21,520 |
| Metanol (ℓ) | CH ₃ O | 32.042 | 49.3 | 502 | 0.604 | 9,740 | 8,570 |
| Monóxido de carbono (g) | CO | 28.013 | — | — | 0.251 | 4,340 | 4,340 |
| Octano (ℓ) | C ₈ H ₁₈ | 114.231 | 43.9 | 156 | 0.533 | 20,590 | 19,100 |
| 1-Penteno (ℓ) | C ₅ H ₁₀ | 70.134 | 40.0 | 156 | 0.525 | 20,540 | 19,190 |
| Propano (ℓ) | C ₃ H ₈ | 44.097 | 31.2 | 144 | 0.662 | 21,640 | 19,930 |
| Tolueno (ℓ) | C ₇ H ₈ | 92.141 | 54.1 | 177 | 0.408 | 18,230 | 17,420 |

(Cengel, 2012)

Anexo 14 Mantenimiento

Mantenimiento de componentes del biodigestor

El mantenimiento del biodigestor estará dividido en varios aspectos y en una gestión de inspección a medida del tiempo de uso del biodigestor.

El mantenimiento mayor utilizado en este tipo de dispositivos es el preventivo, ya que la mayoría de elemento tiene una durabilidad muy alta, pero también debemos tener en cuenta que se puede proceder hacer un mantenimiento correctivo si es necesario de realizar.

Especificaciones de seguridad

Existen varios puntos a tomar en cuenta para realizar los diferentes tipos de mantenimientos, ya que estos se van a realizar mediante un cronograma planificado, el cual nos llevara a un buen uso del biodigestor y una vida útil prolongada.

Las principales especificaciones de seguridad que debe conocer el personal que usa el dispositivo son los siguientes:

Conocer la función de operación de biodigestor antes de realizar cualquier procedimiento.

Utilizar el equipo adecuado como gafas, mascarilla, guantes etc. para realizar el mantenimiento del equipo.

Despejar el área de exposición al material orgánico para su respectiva recolección.

Asegurarse que al realizar el mantenimiento total el sistema se encuentre vacío y sus válvulas totalmente cerradas.

Mantenimiento diario y semanal

Para un buen funcionamiento los mantenimientos diarios a partir de los veinte y cinco o treinta días de llenado del tanque de producción de gas serán los siguientes:

Diario.

Mediante una inspección visual de tanque revisar que no existan fugas de gas por los diferentes orificios que posee el biodigestor.

Al realizar las cargas diarias de material orgánico asegurarse que las tuberías de ingreso como de descarga estén sellados adecuadamente.

Proceder a realizar limpieza externa de las tuberías de ingreso y descarga de biodigestor para evitar la propagación de insectos o animales.

Inspeccionar que no existan sustancia aceitosas en ningún sector del tanque de producción de biogás.

Verificar mediante una inspección visual la presión del biogás en el acumulado por medio del manómetro instalado

Semanal.

Mediante una inspección visual verificar que no existan fugas en ningún sector de la tubería del sistema

Verificar el estado del coupling de goma roscado o camisa para el agitador que no exista daño en el empaque o fugas en el sistema.

Inspeccionar el estado del tanque de sellado de agua que no se haya producido fisuras o grietas prominentes en la estructura.

Verificar la elevación uniforme de tanque de almacenamiento de biogás, si no es así mediante un movimiento de empuje tratar de equilibrar el tanque en sus respectivas guías.

Mantenimiento de 30 días

En el mantenimiento mensual es un poco más exhaustivo ya que existe influencia del clima de la zona que es altamente humedad y con un cambio de temperaturas considerables por lo que es necesario con antelación y precaución revisar profundamente el sistema, por consiguiente se procederá a realizar las siguientes inspecciones.

Inspección de válvulas de paso del sistema

Mediante una inspección visual revisar que no existan daños o un mal cerrado de las diferentes válvulas del sistema.

Inspeccionar que tenga un cierre adecuado y un buen funcionamiento comprobando sencillamente en un proceso de cerrado y apertura de la válvula.

Limpieza externa de las válvulas de paso para evitar así su daño.

Inspección de tapas de ingreso, desfogue y limpieza del tanque de producción

Verificar el buen estado de cada una de las tapas de sellado de tubería en el caso de ingreso y desfogue de material orgánico, al encontrar alguna anomalía o daño proceder inmediatamente a su cambio.

Verificar el sellado hermético de la tapa de limpieza del tanque que no exista ninguna fuga.

Inspección de tubo de carga y descarga

Mediante una mezcla de agua con jabón inspeccionar que no existan perdidas de biogás, colocando una cantidad adecuada alrededor de la unión de la tubería con el tanque observar que no exista formación de burbujas, si fuese el caso que se produjeran proceder inmediatamente a su sellado para que no se produzca una fisura mayor.

Inspección de dispositivos de seguridad

Verificar el buen estado de los dispositivos de seguridad, que son trampa de agua, filtros de sulfuro de hidrogeno y trampa de llama.

Inspeccionar que el nivel de agua que existe en la trama de llama sea el adecuado para su funcionamiento óptimo, si no es así proceder al cerrado de válvulas, retirar la tapa superior del y proceder a su llenado al nivel correcto.

Limpieza del dispositivo de eliminación de agua

Proceder al cerrado de válvulas del sistema.

Inmediatamente proceder al retirado de la tapa de trampa de agua y dejar que fluya en su totalidad el agua acumulado en dispositivo, después del drenado del agua proceder a cerrar y abrir las válvulas del sistema.

Tanque de sellado por agua

Verificar que el nivel de agua de sellamiento sea el adecuado para que no exista perdidas de biogás, si existe un bajo nivel se precederá a su llenado.

Mantenimiento cada 180 días

Continuando con los procedimientos de manteamiento tenemos el de los 6 meses que nos permitirá que sistema siga en un funcionamiento adecuado.

Inspección del sistema del biodigestor

Por medio de una inspección visual verificar el buen estado de los tanques tanto el de producción de gas como el de acumulación, que no existan fisuras por donde puedan existir fugas de gas y realizar una limpieza total.

Inspección de conexión de tubería

Realizar un ajuste de todo los acoples de tubería y verificar su buen estado si no es así proceder inmediatamente al cambio.

Revisar que no exista fugas en los acoples o en la tubería con la mezcla de agua y jabón, si existiera cambiar el tramo dañado.

Inspeccionar a simple vista el buen estado de los empaques que se puedan observar sin desarmar los dispositivos.

Verificación del funcionamiento de manómetro

Mediante el aumento de peso en el exterior del taque de acumulación verificar el buen funcionamiento del manómetro.

Sujeción de pernos de brazos guías

Inspeccionar que los pernos y tuercas se encuentren en un buen estado para su uso.

Proceder a realizar el reajuste de las tuercas a la base del tanque de sellado con un torque adecuado para que no exista daño en la estructura.

Mantenimiento de 730 días

Teniendo en cuenta que este periodo de tiempo el mantenimiento que se debe realizar al biodigestor es muy importante principalmente al tanque de producción de biogás, porque los residuos orgánicos poseen gran cantidad de ácidos y puede dañar los elementos del interior del tanque.

En este mantenimiento se verificara e inspeccionara cada uno de los elementos que conforma el equipo en su totalidad, para observar si es necesario algún ajuste o se necesita cambios de elementos, porque esto puede ser posible ya que se encuentran expuesto al aire libre.

Tanque de producción de gas

Cerrar la válvula de paso de gas y retirar la tapa de descarga para la recolección de bioabono generado hasta su límite.

Realizar el vaciado total del tanque mediante la válvula respectiva que se encuentra en la parte inferior del tanque.

Después del vaciado total proceder a lavar el interior del tanque con agua hasta poder acceder a verificar su estado.

Proceder al desarmado del agitador y de la tubería de ingreso del producto orgánico y se debe observar que no exista daño en el sellamiento de la tubería, en la camisa del agitador y en el tanque.

Inspeccionar el buen estado de la guía del agitador realizar una limpieza de su interior y asegurarse que se encuentre con una sujeción adecuada para su uso.

Agitador

Como se mencionó anteriormente se procederá al desarmado del agitador durante la limpieza del tanque.

Verificar que el recubrimiento tanto de las paletas de agitación como del eje de rotación, si se encuentra alguna falla se procederá nuevamente a realizar el recubrimiento nuevamente.

Se debe comprobar la sujeción de las paletas al eje, que aun mantenga un torque adecuado.

Tuberías y válvulas

Inspeccionar que no existan fugas en ninguna parte del tramo de tubería ni de manguera de transporte del biogás.

Se debe comprobar el buen funcionamiento de las válvulas que componen el sistema del biodigestor con una abertura y cierre continuo.

Dispositivo de eliminación de agua

Realizar una limpieza de residuos provocados por el agua en almacenamiento en el dispositivo.

Proceder a verificar el sellado del acople de la trampa de agua y de sus empaque, si se encontrar algún daño proceder a realizar el cambio de los mismo.

Dispositivo de eliminación de sulfuro de hidrogeno

Antes de proceder a realizar el mantenimiento de este dispositivo se debe a proceder a depurar el sistema de tubería por lo se debe cerrar la válvula de ingreso del tanque de almacenamiento a continuación se realizara la apertura de la válvula que se encuentra a la salida del taque de producción de biogás para permitir la salida del mismo, por consiguiente se deberá realizar la respectiva acción de mantenimiento.

Remplazar el producto filtrante que contiene el dispositivo por otro ya que durante este tiempo pierde sus propiedades en este caso se remplazara por estropajos de aluminio.

Verificar el sellado de los acoples y sus respectivos empaques también tener en cuenta el torque de sus respectivas roscas para un buen ajusté y observar que no exista juego en los acoples si es así proceder al cambio de filtro.

Dispositivo de trampa de llama

Para realizar el mantenimiento de este dispositivo se debe cerrar al válvula de paso desde el tanque de almacenamiento hacia a esta trampa para que no exista desperdicio de biogás.

Se debe inspeccionar los acoples respectivos de este dispositivo y sus empaques ya que este sistema debe tener un sellado eficiente para que no exista perdidas de biogás.

Se procede hacer el cambio de agua del sistema y comprobar el nivel adecuado en el dispositivo que debe ser menor a las $\frac{3}{4}$ partes.

Verificar el sellado del dispositivo una vez terminado el mantenimiento.

Tanque de almacenamiento y tanque de sellado

Estos dispositivos deben ser inamovibles para que no exista perdidas de gas pero para este caso de mantenimiento es necesario, ya que el agua de sellado debe ser cambiado ya que puede contaminarse o no encontrarse en un nivel adecuado.

Es conveniente que el biogás gas sea utilizado en su totalidad para su máximo aprovechamiento antes de proceder a su desmontaje y limpieza del tanque

Proceder a abrir las todas las válvulas para que exista un desfogue de residuos de biogás que se encuentre en el sistema.

Desmontar la jaula de aseguramiento del tanque de almacenamiento del biogás de la base superficial del tanque de sellamiento e identificar el estado del recubrimiento de la jaula si se encuentra en buen estado.

Retirar el tanque de almacenamiento e inspeccionar su estado conjuntamente con el estado del tanque de sellamiento, si se encontrara alguna falla proceder a sellar inmediatamente.

Finalmente proceder a rearmado de sistema de biodigestión revisar el ajuste de todos los acoples y válvulas, revisar el ajuste de las pernos de la jaula de sujeción con su respectivo torque.

Continuar con el llenado del tanque de producción para la reactivación del ciclo de generación de biogás.

El procedimiento de mantenimiento del sistema de generación de biogás se debe efectuar como en el orden mencionado anteriormente para que así pueda tener un buen funcionamiento, tener en cuenta las respectivas normas de seguridad para realizar todos los procedimientos y de ser posible que lo realice con un el equipamiento adecuado.

Anexo 15 Planos